No. 10

Nov. 1957

LIBRARY
OCT 5 1961
FISH & WILDLIFE SERVICE

BULLETIN OF TOHOKU REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

東北海區水產研究所研究報告

第10號

水產廳
東北海區水產研究所
宮城縣塩釜市
昭和32年11月

TOHOKU REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY
SHIOGAMA, MIYAGI PREF., JAPAN

東北海区水産研究所　研究報告　第10号

目　　次

プランクトンの水塊指標性に就いて……木村喜之助　小達和子　1

日本近海のカツオ竿釣り漁業における漁況の変動について　第1報……川崎　健　17

日本近海の竿釣りビンナガ漁業における漁況と海況との関係について
第2報　黒潮前線の北側の漁場……川崎　健　29

ババガレイの生物学的研究　第1報　卵巣の成熟について……笠原康平　46

松島湾の水産資源に関する基礎研究　第5報　塩釜港の柴漬について…谷田専治　佐藤重勝　56

松島湾の水産資源に関する基礎研究　第6報
松島湾のエビの生態　その1……佐藤重勝　75

養殖海苔の色沢変化に関する研究　第4報　藻体吸収曲線の変化……佐野孝　89

ワカメの生態及び養殖に関する研究……黒木宗尚　秋山和夫　95

魚類肝臓及び其の他の器官におけるビタミンAの存在状態に関する
研究　第2報　所謂黒肝中のメラニン色素によるビタミ
ンAの吸着とその化学的証明……山村彌六郎　118

On the natural Coordinate System and its Applications to the
Kuroshio System ……Hideo Kawai　142

東北水研　研究報告
第10号
Nov.　1957

プランクトンの水塊指標性に就いて※

木　村　喜之助・小　達　和　子

EXAMINATION OF ZOO-PLANKTON AS AN INDICATOR OF SEA WATER MASSES IN THE TOHOKU REGION

Kinosuke KIMURA and Kazuko ODATE

The occurrence of zoo-plankton as an indicator of the water masses of either warm or cold current was examined on 10 common species collected in 1950～'52 from the waters of the Tôhoku Region, Pacific coast of northern Honshû extending Lat. 35°～45°N, Long. 140°～160°E. From the data of the quantity (individual numbers) of each species of plankton collected at each station and of the water temperature simultaneously measured in the waters 0 and 100 m deep, the writers studied how the average number per haul at each temperature class varied with the temperature.

The quantity of plankton collected at sampling stations showed not so close relation to the surface water temperature there, particularly so for the species categorized as indicative forms of cold current. However for a certain species the quantity sampled at stations indicated an intimated relation to the temperature at 100 m deep there and the relation might be expressed by an exponential curve

$$n=10^{kt}$$

where n is the average quantity of plankton collected at the temperature t of the 100 m depth and k is the coefficient.

Theoretically, the value of k here should be negative for the cold current species, and the greater the absolute value of k, the greater the indicative magnitude for the cold water.

Thus the sprcies listed below were regarded as the cold current forms accompanied by the values of k calculated for them,

Calanus plumchrus	$k=-0.16$	the highest indicator
Calanus cristatus	〃$=-0.16$	
Eucalanus bungii	〃$=-0.10$	indicator following the above
Metridia lucens	〃$=-0.05\sim-0.11$	
Themisto sp.	〃$=-0.08$	
Calanus helgolandicus	〃$=-0.05$	the least indicative form

But as pointed out before, the quantity in the sample of above six species was

※東北海区水産研究所業績　第101号

not found correlated to the surface temperature.

For warm current species, the value of k should be positive under the same treatment as in the case for cold current forms.

Thus, *Doliolum* sp. was calculated to carry the value of k about $+0.04$ falling approximately on the temperature of the 100 m depth and for the surface temperature, extraordinarily large quantity was collected in the range of 17°～21°C.

For *Muggiaea atlantica* and *Sagitta enflata*, the largest quantities were found in 5°C and 8°C classes of the temperature of the 100 m depth respectively and the same value of $k=+0.20$ was calculated for the former in waters colder than 5°C and for the latter in waters with the temperature of below 8°C, likewise, $k=-0.06$ was obtained for these two forms in waters with the temperature higher than the respective critical reading of 5°C and 8°C.

The relation $n=10^{kt}$ is roughly maintained as to the surface temperature and the approximate values of $k+0.06$ and $+0.04$ were obtained for *Muggiaea atlantica* and *Sagitta enflata* respectively.

Muggiaea atlantica was found abundantly in the range 17°C to 21°C of surface temperature similarly to *Doliolum* sp. Such a range (17°～21°C) of surface temperature and the critical temperature 5°C and 8°C of the 100 m depth above described are always observed on the Oyashio Zensen formed in the northern part of the Tôhoku Region during Summer (Oyashio Zensen means the front or the boundary region of the water masses of the Kuroshio and the Oyashio).

Due to the converging property of surface waters toward the front, it seems reasonable to expect that the surface plankton such as *Doliolum* sp., *Muggiaea atlantica* and *Sagitta enflata* – the warm current species – abounds on the Oyashio Zensen.

It may be added that *Euphausia pacifica* is not fully indicative of the water masses referring neither to the water temperature of surface nor to that of the 100 m depth.

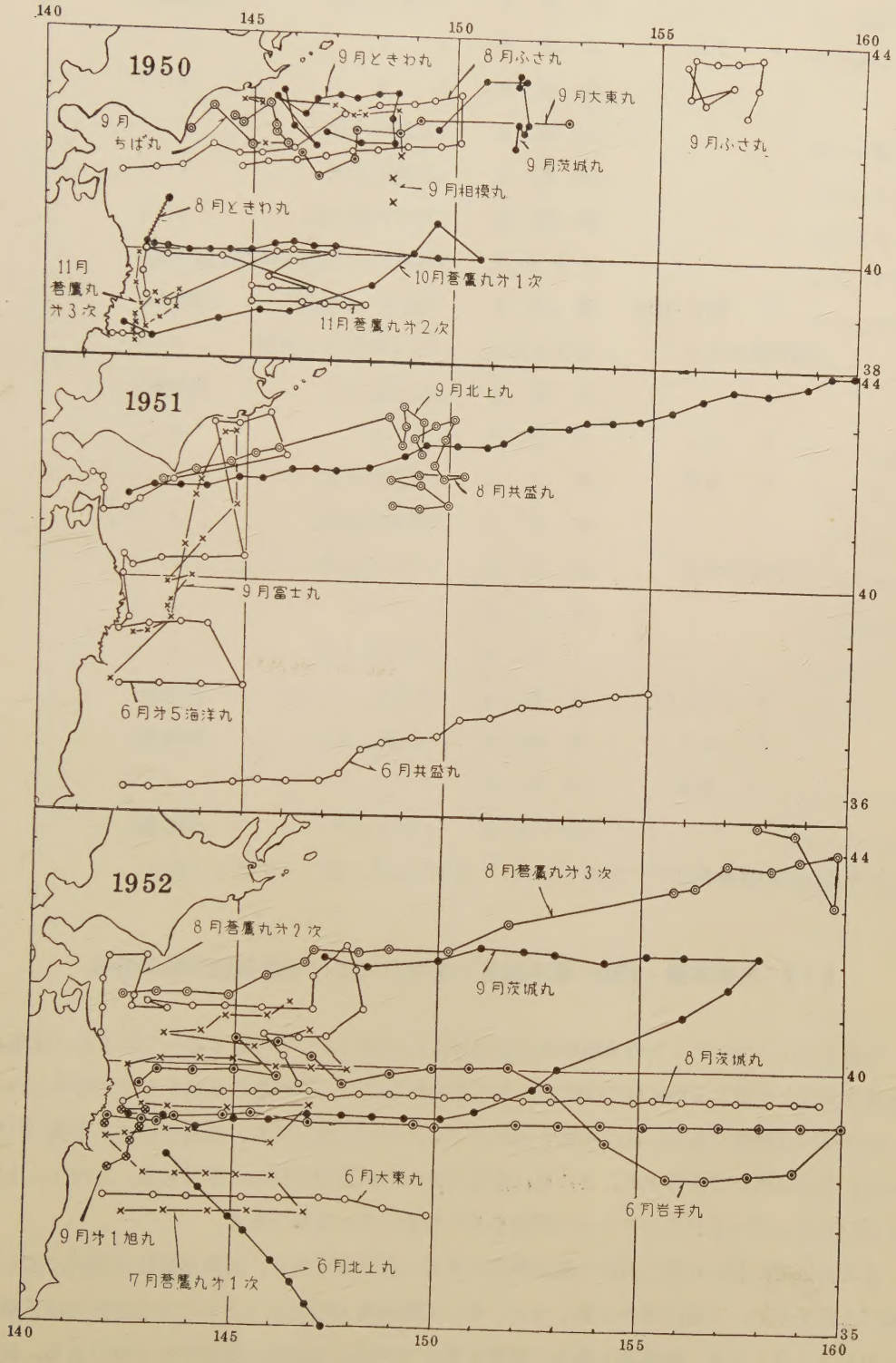
ま え が き

従来採集されたプランクトンの内から或種のプランクトン所謂“水塊指標性プランクトン”を検出し、之によりその水系の暖流性・寒流性・沿岸性等が判定され、又之に関する報文もかなり多数発表されて来た。然しその指標性をどの様な規準によつて決定したか明かでなく、勿論水温が最も大きな“よりどころ”ではあろうが、指標性の信頼度或は各種指標性プランクトンの間の指標性の強弱の比較等という問題はあまり顧みられていないので、本報文は此の点に就いて検討を行つた。

本報文で取扱つた資料は東北海区水産研究所が昭和25年～27年の3ヶ年、東北海区の広汎な水域（北緯35°から北海道迄，沖合は東経160°迄）で、海洋調査の都度（特）プランクトンネット（口径45cm，長さ100cm，GG 54，大型動物プランクトンを採集の対象とする）により、150m の深さから表面迄鉛直に曳上げて採集したプランクトンである。

調査を担当した船及び調査期は次の通りである。

第1図　昭和25年～27年に於ける調査船の航跡及びプランクトンネット使用点



昭和25年8月	ときわ丸	（福島県小名浜水産高校練習船）
	ふさ丸	（千葉県水試　指導船）
〃　9月	ふさ丸	（〃　〃）
	ちば丸	（〃　〃）
	大東丸	（宮城県水試　〃）
	茨城丸	（茨城県水試　〃）
	相模丸	（神奈川県水試　〃）
	ときわ丸	（福島県小名浜水産高校練習船）
〃　10月·11月	蒼鷹丸	3航海（水産庁　調査船）
昭和26年6月	第5海洋丸	（海上保安庁水路部　〃）
	共盛丸	（福島県水試　指導船）
〃　8月	共盛丸	（〃　〃）
〃　9月	北上丸	（岩手県水試　〃）
	富士丸	（静岡県水試　〃）
昭和27年6月	岩手丸	（岩手県水試　〃）
	北上丸	（〃　〃）
	大東丸	（宮城県水試　〃）
〃　7月·8月	蒼鷹丸	3航海（水産庁　調査船）
〃　8月	茨城丸	（茨城県水試　指導船）
〃　9月	茨城丸	（〃　〃）
	第1旭丸	（東北水研　調査船）

上記各調査船の航跡及びプランクトンネット使用点は**第1図**に示す通りである。

【I】 表面水温・100m層水温各1度桝目に於ける採集個体数の分布

本報文ではプランクトンの水塊指標性を採集点の水温によつて吟味するのであるが、採集点の水温も表面と中層と150m層では頗る大きな差があるので、どの層の水温をとつて吟味したらよいかは重大な問題である。次に採集されたプランクトンに就いても、勿論それが上下均一に分布している事は無いであろうが、どの層に濃密であつたかは知り得ない事である。その上、上層と下層で分布しているプランクトンの種類もかなり違つている様である。

東北海区では春から夏にかけて暖流勢力が北方へ伸びるに当り、表面水温は全般的に広く又急激に上昇するが、下層は仲々上昇しない。そして暖流勢力の北上コースに当る部分では下層水温はかなり上昇しても、暖流北上勢力の影響を受けず何時迄も低温を持続する水域がある。従つて

表層・下層を含めて総括的に暖寒両水域の分布を見るには、下層水温を対象とする方が便利である。従つて従来海洋学の研究者は、東北海区の黒潮・親潮勢力の消長を研究するのに、表面水温分布図はあまり有効でないとして、100m 層水温分布図を利用していた。此処でもその意味で、100m 層水温によつてプランクトン採集記録を吟味するのが良いと考える。

尙東北海区の夏季には、表層水塊は一般に浅く、10m前後迄が特に高温で略々一様な水温を示しても、それから下層は急に水温が下降するのが普通であつて、100m層の深さは150mから表面迄曳上げたネットの採集層の内、表層の特殊層を除いた部分に対しては大体中間的位置に当る。

然し表層は高温層を形成し、下層との水塊の混合は殆ど起らない特殊な層であるから、下層とは別な種類のプランクトンの分布も考えられる。従つて此の表層の特殊性を無視する事は出来ないから、此処では100m 層と表面の両水温の値をとつて、之と鉛直曳 150m の動物プランクトン採集量との関係を吟味する。

第 2 図は横軸に表面水温を縦軸に100m層水温をとり、その各水温 1°C毎の桝目に於いて採集*が何回行われたかを示したものである。 即ち**第 2 図**に於いて水温階層の巾は 1°C であつて、例えば 3°C 台というのは 3.0～3.9°C であり、14°C 台とは 14.0～14.9°C という風にとつてある。**第 2 図**によると、表面水温では 17°C 台から 22°C 台の範囲が採集回数多く、各階層共に40回前後（正確には36～47回）である。之は東北水研の調査が大体夏・秋に行われ、黒潮前線と親潮前線とに挟まれた混合水域及びサンマ漁解禁日前のサンマ分布調査として行われた北海道近海及びその東側（親潮前線の北側を含む）に於いて採集が行われた関係上、此の様な表面水温が多く見られたのである。

次に 100m 層水温で吟味すると、最も多く採集の行われたのは 1°C 台79回, 2°C 台61回であつて、之は親潮水系のもつ水温である。 7°～13°C の 6 階層では孰も20回以上で、それより低温或はそれより高温の階層よりも幾分採集回数が多い。 それは 7°～13°C の水温は混合水域の 100 m 層の代表値であるからである。然し 18°C 台を峯として、高温部にも若干採集が行われているが、此の水温階層は黒潮前線の上で多く見られる値である。

第 2 図に於いて、 100m 層水温が表面より高温という事は実際には出現しない事であるから、その部分は黒く網目で塗られている。又温度 1°Cの桝目の中を黒の斜線で埋められているところは、3ケ年の採集に 1 回も出現しなかつた部分である。 之は勿論表面水温では 10°C 以下或は 25°C 以上の部分に多く、此の区域は前述の様に、海洋調査の対象区域ではなかつたのである。

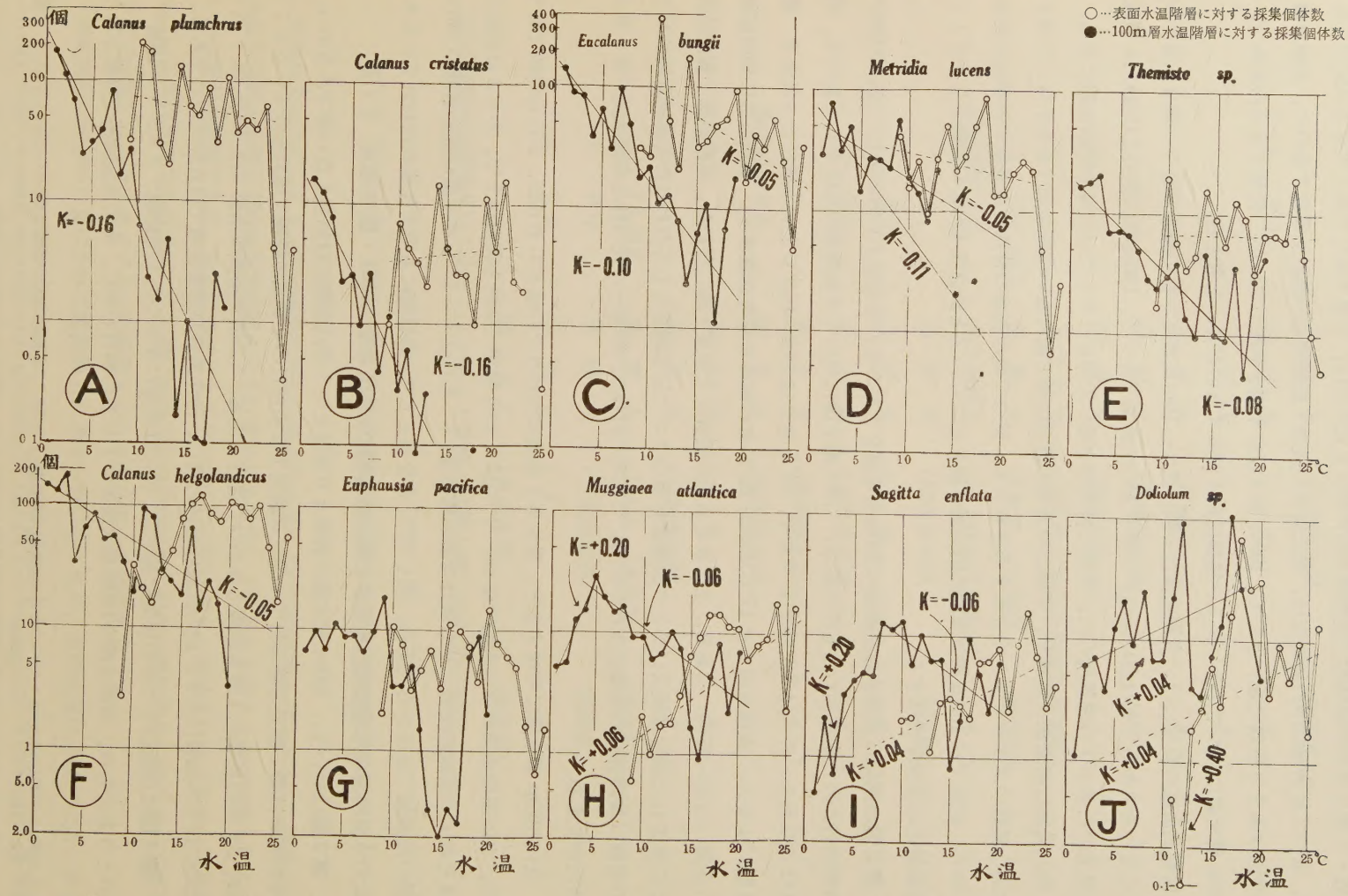
第 3 図には此の 3 ケ年の採集に於いて、特に採集量の多かつた大型動物プランクトン10種**がとりあげられ、表面水温と100m層水温夫々 1°C 毎の桝目の中に、その水温階層で採集された

---

* 採集という語はプランクトンネツトを使用して採集を実施したという意味で、採集量の有無には関係しない。

** 査定・計数はプランクトンは大型動物プランクトンを対象とし,大体13目,67種であるが,此処では特に数量的に多い10種丈けを取上げた。
◎*Copepoda* ではノープリアス期等のものは除外してある。
◎*Themisto* は体の大小の差が甚だしいので、未成体であつても、*Copepoda* の大型と同等程度のものは計数されている。

第4図　主要動物プランクトン10種の採集個体数の100m層水温及び表面水温に対する関係



プランクトン個体数を採集回数（採集量皆無の場合を含む）で割つた平均採集個体数* が示されている。第3図の各図を見ると、各桝目の中の採集個体数の配列に或る規則性が見られる様でもあるが、又その反面かなり複雑な内容も示されている。

【Ⅱ】 プランクトン採集個体数の温度に対する指数分布

プランクトン採集個体数の 表面水温 及び 100m 層水温 に対する関係を別々に吟味する。即ち第4図には縦軸に水温各1°C階層の平均採集個体数の対数値をとり、横軸に水温をとつてある。今10種のプランクトンに就いて個別に検討すると次の通りである。

(A) *Calanus plumchrus*

此のプランクトンは東北海区の高緯度に非常に多く、3ケ年の全採集個体数は約27,000個である。

先づ 100m 層水温との関係に於いては第4図に示されている様に、1°C 台で採集1回に対し平均175個の多数が得られたが、水温が高くなると採集個体数は急に減少し、13°C 以上では平均1個以下、但し 18°C 台では 2.5個、19°C 台では 12.8 個で幾分多かつた。然し大体に於いて採集個体数の温度に対する関係は指数函数的分布と見る事が出来るので、次の指数函数

$$n = C\ 10^{kt}$$

にあてはめる。此処で t は水温，n は各水温階層毎の平均採集個体数，C は常数（0°C 台階層の平均採集個体数），k は温度による採集個体数の変化を示す係数（以下簡単に採集係数と呼ぶ）である。而して *C. plumchrus* の場合には k は略々 -0.16** となる。

次に採集個体数の対数値と表面水温との関係を見ると、9°～24°C の範囲では、温度の高低に対し採集個体数の規則だつた増加的或は減少的傾向は見られない。特に15°～24°Cの範囲では、各水温階層に対し平均採集個体数は 30～100個であり、各水温階層の平均採集個体数の 15°～24°C の全採集個体数の平均値に対する偏差はそれ程大きいとも云われない。但し 24°～27°C では採集個体数が甚だ少い。

(B) *Calanus cristatus*

本種は全採集個体数では *C. plumchrus* の 1/10 程度であるが、体重に於いては5～10倍という大型のものであるから、採集重量では大体同程度になる。

本種も 100m 層水温の 1°, 2°C 台の低温では平均採集個体数が夫々 15.5, 12.0 個で割合に多いが、高温では急激に減少し、指数曲線の分布を示している。そして採集係数は *C. plumchrus* と同じ

---

* 各桝目内の数字は平均採集個体数であるが、小数点以下は省略してある。而して－の記号は全く採集個体の無かつた事、0は1未満、1は丁度1個のものから2個未満のものを含んでいる。その他の数字も同様の意味をもつ。

** 第4図に於いて直線をあてはめるのに、直線の傾斜はかなりあいまいである。最小二乗法等を用いて厳密に傾斜を決定する程の必要も無いし、又あいまいであると云つても、k の値は自然に或る範囲に制限される。恐らく±10～20%の誤差の範囲であつて、本報文ではその程度の誤差を問題としていない。

$k=-0.16$ の値を挿入する事が出来る。

一方表面水温との関係は、9°～24°C 台の各水温階層に対して平均採集個体数は 1～15個で、表面水温と平均採集個体数の相関は全然見られない。

(C) *Eucalanus bungii*

本種は *C. plumchrus* と同様東北海区では採集個体数甚だ多く、3 ケ年の全数は 26,000個である。本種は 100m 層水温の 1°C 台では 1 回平均 141個で、高温になる程減少する事上記両種と同様であるが、k の値は絶対値が稍々小さく -0.10 程度である。

本種は表面水温に対しても高温では少い傾向を示し、第 4 図に於いてかなり分散は大きいが、略々 $k=-0.05$ 程度の直線をあてはめる事が出来る。

(D) *Metridia lucens*

本種は *C. plumchrus* 或は *E. bungii* の半数程（約 13,000個）が採集されている。100m 層水温に対する採集個体数の分布は高温程減少し、特に 14°, 16°, 19°C 台では採集されていない。各水温階層共に採集の見られた 1°～13°C 台の採集個体数の分布に対しては大体 $k=-0.05$ の値を当てはめ得るのであるが、それより高温部分では非常に少い事を考慮すると、$k=-0.11$ 程度に見る方がよいかも知れない。

表面水温と採集個体数の関係は明かでない。

(E) *Themisto* sp.

本種は大型であつて採集個体数は少く全数は 3,600個、大体 *C. cristatus* 程度である。

100m 層水温に対しては $k=-0.08$ 程度であるが、14°, 17°, 19°, 20° 台の平均採集個体数は孰も $n=C10^{-0.08t}$の線より上側へ離れて分布し、従つて k の値としては -0.08 より絶対値ではもつと小さい値が適当かも知れない。

表面水温では温度の高低が平均採集個体数に殆ど影響していない。

(F) *Calanus helgolandicus*

本種は東北海区で最も多く採集され、3 ケ年の合計は約 36,000個に達した。

100m 層水温と平均採集個体数との関係に於いては $k=-0.05$ 程度である。

表面水温に対しては、その出現水温の最低 9°C 台では平均 2.7個で甚だ少く、10°～14°C 台でも夫々 10～40個の範囲、然し 15°～23°C 台では夫々 70～120個で頗る多く、24°～26°C 台で幾分少い。従つて表面水温に対しては高温水域程むしろ採集個体数が多い傾向を示している。

(G) *Euphausia pacifica*

本種は東北海区で採集される *Euphausiadae* の代表的なもので、全採集個体数は 3,135個、但しその計数に際しては、幼体は他の *Euphausiadae* との分類が困難であるから全部除外し、上記の数値は大型のもの丈けに限つた。

100m 層水温に対する採集個体数の分布は、1°～8°C 台では各水温階層に対して 6～11個で大きな差が無く、9°C 台で 17.9個、次いで 10°～12°C 台の 3 階層では夫々 3～5個でかなり少く、更に 14°～17°C 台の 4 階層では夫々 0.20～0.33 という頗る小さい値を示しているが、18°～20°C 台の 3 階層ではかなり多く、夫々 5.9, 8.6, 2.0 個。要するに 100m 層水温に対しては指数函数の分布を示していない。

表面水温に対しても指数函数的分布を示さない事は全く同様であつて、9°～23°C 台の各階層では 9°C 台の 2.0個と 20°C 台の 14.6個が幾分例外的な値を示すが、他の階層では夫々 3～11 個であつて、その分布は殆ど水温に無関係である。然し 24°～26°C 台の 3 階層の個体数はかなり少く 1.6, 0.66, 1.5 個である。

(H) *Muggiaea atlantica*

管水母目の中では最も多く採集された種であつて、3 ケ年の合計は約 4,100個である。

本種の100 m 層水温に対する採集個体数の分布は上記 7 種とかなり異つたものがある。それは 1°～5°C 台の 5 階層の採集個体数は温度の高い階層程指数函数的に増加し、k の値は +0.20 という大きい値をもつ様であるが、5°C 台から更に高温の部分では明かに指数函数的減少を示し、$k \fallingdotseq -0.06$ の曲線をあてはめる事が出来る。

表面水温に対しては 9°C 台から 26°C 台迄大体に於いて平均採集個体数は増加しており、之を指数函数曲線にあてはめるならば（此の曲線に対する各点の分散は甚だ大きいが）、大体 $k = +0.06$ 程度の値をとる様である。

(I) *Sagitta enflata*

本種は *Sagittidae*（科）の中では *S. elegans* と共に東北海区の代表種で、型も大きく、全採集個体数は 2,300個に達している。此処では *S. enflate* 丈けを取上げて説明する。

100m 層水温に対する採集個体数の分布は全く *Muggiaea atlantica* と同様に、極く低温部では指数函数的増加を、それ以上の高温では指数函数的減少を示している。即ち 1°～8°C 台では $k = +0.20$、8°C 台以上では $k = -0.06$ の値をあてはめ得る事も亦 *Muggiaea atlantica* と同様である。

一方表面水温に対しては指数函数的に増加し、$k = +0.04$ 程度の値をあてはめる事が出来る。

(J) *Doliolum* sp.

Doliolum sp. の中では *Doliolum nationalis* が卓越種であるが、*D. denticulatum* 及び *D. tritonis* も出現しているので、之等を一括して *Doliolidae* sp. の吟味をする。

100m 層水温に対する分布は高温になる程採集個体数が多く、k の値としては +0.04 程度のものが見込まれるが、勿論此の指数曲線に対する各水温の採集個体数の分散は頗る大きい。

表面水温に対しては、図の上では一応 $k = +0.04$ の直線を引いて見たが、勿論此の直線が充分

代表的だとは思われない。

本種は表面水温の9°C台，10°C台では1度も採集されていないし、12°C台では平均0.1個である。そこで11°C台から18°C台迄の部分について見ると、$k = +0.40$ という頗る大きい値が得られる。然し19°C, 20°C台では27.0, 31.0個で、18°C台の68.4個に比べるとかなり少く、更に21°C台以上は10個以下（26°C台丈けが13.5個）であるから、一応高温の方が低温の方より採集個体数が多い傾向は見られるが、指数曲線であてはめる事は相当無理だと云える。

【Ⅲ】 総　　括

以上10種の動物プランクトンに就いて夫々水温と採集個体数の関係を吟味したが、之を総括すると次の様になる。

(A) 100m 層水温との関係

（1） 最低水温* で採集個体数最も多く、高温になる程指数函数的に減少するもの

Calanus plumchrus	$k \fallingdotseq -0.16$
Calanus cristatus	-0.16
Eucalanus bungii	-0.10
Metridia lucens	$-0.05 \sim 0.11$
Themisto sp.	-0.08
Calanus helgolandicus	-0.05

（2） 水温が採集個体数に関係無いもの

Euphausia pacifica

（3） 低水温域では温度が高くなると採集個体数は指数函数的に増加するが、或水温以上では指数函数的に減少するもの

Muggiaea atlantica

5°C台以下 $k \fallingdotseq +0.20$　　5°C台以上 $k \fallingdotseq -0.06$

Sagitta enflata

8°C台以下　+0.20　　8°C台以上　−0.06

（4） 全水温域に対し採集個体数は大体指数函数的に増加しているもの

Doliolum nationalis　$k \fallingdotseq +0.04$

(B) 表面水温との関係

（1） 水温が採集個体数に関係無いもの。但し最高温域では採集量が激減する（此処で云う最高温域とは 24°, 25°, 26°C 台である）

---

* 最低水温……採集実施区域の内で 100m 層水温の最低水温即ち此の8ケ年の記録では 1°C 台。

Calanus plumchrus

Calanus cristatus

Metridia lucens

Themisto sp.

Calanus helgolandicus　（但し 9°～15°C 台では甚だ少い）

Euphausia pacifica　（但し 24°, 25°, 26°C 台の減少が著しくない）

（2） 水温が高くなる程採集個体数の減少するもの（但し 24°, 25°, 26°C 台で採集量は激減しない）

Eucalanus bungii　$k \fallingdotseq -0.05$

（3） 水温が高くなる程採集個体数が増加するもの

Muggiaea atlantica　$k \fallingdotseq +0.06$

Sagitta enflata　$+0.04$

Doliolum nationalis　$+0.04$

【Ⅳ】 プランクトンの指標性の海洋学的考察及び指標性強弱の比較

東北海区の黒潮・親潮の水平的配置及び鉛直的分布を水温から考察すると次の通りである。親潮前線の北側では表面・100m 層共に低温、100m 層では 1°, 2°C というのが普通である。一方黒潮前線の南側では表面・100m層共に高温、夏季表面では大体 25°C 前後、100m層でも 20°C以上である。黒潮前線と親潮前線との間に挟まれる区域（混合水域……本研究所の調査区域の大部分は此の混合水域である）では表面が高温でも 100m層は頗る低温（1°, 2°C程度）であつたり、反対に 15°C 程度の高温を示したりして、表面と100m層の水温は大きな相関を示さない。而して夏季は表面の 0～10m 程度の厚さが極めて高温になるのであつて、それ以下では水温は急激に下降する。従つてプランクトン採集点の代表水温として一つの値を選び、之とプランクトンの採集量の関係を吟味するに当り、表面水温と 100m 層水温とどちらがよいかという問題になると、それは当然100m 層水温という事になる。上述の様に表面水温は表面下 10m程度の水深の水温の代表値であるが、それから下層の水温とは相関が小さいのに反し、100m 層水温は 25m 程度から 150m の間の各層水温と大きな相関を示し、且つ100m層の位置は 25～150m の略々中間である。従つて採集されたプランクトンの大部分が表面層で得られたというのでなければ、表面水温をとるよりも 100m 層水温をとる方が合理的だとも云える。

そこで本報文で取扱つている10種のプランクトンが表面水温と 100m 層水温とに対して夫々どんな関係を示しているかを検討すると次の通りである。

寒流性プランクトンは当然低温水塊に多く、高温になる程採集量は減少する筈であり、その減

少が指数函数的であるならば、採集係数の k の値は当然"負数"(−)であり、そのマイナスの絶対値の大きい程寒流性が著しいと云う事になる。一般に寒流性と見做されている *C. plumchrus*, *C. cristatus*, *E. bungii*, *Metridia lucens*, *Themisto* sp. は従つて k の値がマイナスの方に大きい値をもつはずである。

上述によつて100m層水温に対しては *C. plumchrus*, *C. cristatus* は $k \fallingdotseq -0.16$ であり、*E. bungii* は -0.10, *Metridia lucens* は 0.05~0.11, *Themisto* sp. は -0.08 程度の値を示すのに、之等のプランクトンの採集量と表面水温との間には k は殆んど0、即ち相関が無く、僅かに *E. bungii* が $k \fallingdotseq -0.05$ 程度の値を示す丈けである。即ち上記5種のプランクトンは寒流性と考えられるのであるから当然 k がマイナスの大きい値を示す100m層水温が指標性に関しては好都合であり、表面水温は何等指標性の吟味には役に立たない。恐らくは之等5種のプランクトンは東北海区の混合水域では潜流として下層にある寒流水域中に多いのであろう。

普遍種(或は Temperate species)に入れられている *Calanus helgolandicus* も表面水温に対する関係は明かでないが、100m層水温に対しては指数函数的に減少し、$k \fallingdotseq -0.05$の値を示している。

Euphausia pacifica は表面・100m層共に温度との関係が明かでない。

Muggiaea atlantica と *Sagitta enflata* は表面水温に対しては高温になる程指数函数的に採集量が増加する。然し100m層水温に対しては、低温域では指数函数的に採集量は温度と共に急激に増加するが、或特定の水温より高温の部分では指数函数的に減少する。一般に高温になる程採集量の増加するものは当然暖流種と考えるべきであろうが、100m層水温に対する此の様な関係は更に後で吟味する。

Doliolum sp. は表面水温・100m層水温の両方に対して共に高温程採集量が多く、之こそ全くの暖水種というべきであろう。但し表面水温の18°C台で平均採集個体数が最も多く、17°~20°C台が特に採集個体数の多い水域となつているが、此の原因も後で検討する。

以上に於いて10種のプランクトンの寒流性・暖流性を吟味したが、更に寒流性・暖流性指標の強弱も比較する事が出来る。即ち k の値を比較するわけであるが、寒流性プランクトンに関しては100m層水温に対する k の値によつて吟味すると、

Calanus plumchrus	$k \fallingdotseq -0.16$	最高位 寒流指標性
Calanus cristatus	-0.16	
Eucalanus bungii	-0.10	次位 寒流指標性
(表面水温に就いても $k \fallingdotseq -0.05$)		
Metridia lucens	$k = -0.05 \sim -0.11$	
Themisto sp.	-0.08	
Calanus helgolandicus	-0.05	甚だ弱い 〃

暖流性プランクトンに就いては表面・100m層の両方の水温に対して吟味すると、

Doliolum sp.	表面・100m層共に $k \fallingdotseq +0.04$	暖流指標性
Sagitta enflata	表面 $k \fallingdotseq +0.04$	条件付暖流指標性
	100m層 { 8°C台以下 $k \fallingdotseq +0.20$ / 8°C台以上 $k \fallingdotseq -0.09$	
Muggiaea atlantica	表面 $k \fallingdotseq +0.06$	
	100m層 { 5°C台以下 $k \fallingdotseq +0.20$ / 5°C台以上 $k \fallingdotseq -0.06$	
Euphausia pacifica		指標性無し

此の条件的暖流指標性というのは、100m 層水温の広い範囲に於いて k がマイナスを示す事である。勿論低温の或温度以下ではプラスであるから、寒流の発達している水域にはあまり存在しない事は確かである。然し 100m 層水温の上限、即ち此の場合 15°C 以上といえば黒潮前線の潮目の位置で（**第 5 図**）、此の方面では採集量が僅かなのである。採集量の最も多いのは *Sagitta enflata* では 100m 層水温の 8°C 台、*Muggiaea atlantica* では 5°C 台であるが、此の水温は**第 5 図**で見る様に、夏季には親潮前線上にある。従つて 100m 層を標準として考えると（50m層・200m層も大体同様*）、此の両種のプランクトンは親潮水域には甚だ少く、親潮前線上に最も多く、東北海区の混合水域にも従つて多いが、暖流の影響が強まる程減少するという性質を示している。従つて採集量の多少によつて暖水の発達状況（表面水温の高低）を推定する事は出来ない。

次ぎに *Doliolum* sp. は表面 17°～20°C の水域で採集量が多い。即ち (17, 5)・(17, 6)・(19, 11)・(18, 12)・(19, 14)・(20, 17)**の各水温桝目で 1 回平均100個以上を採集しており、従つて 100m 層はかなり低温の部分でもかなり高温の部分でも、又その中間部分でも採集量が多かつた事になる。表面 17°～20°C の水域は、採集が主として行われた 8 月・9 月では**第 5 図**に見られる様に全く親潮前線の水温であつて、表面 17°～20°C の水域も 100m 層では寒流の分布が表面とは同様でないから、上述の様にかなり低温から相当の高温迄色々の水温が見られた訳である。

此の事は *Muggiaea atlantica* にも見られる現象で、即ち此の種も表面水温の17°～20°C台では各水温階層に於いて10個以上の採集があり、$k = +0.06$ の線より著しく上方に位置し、大きな偏差を示している。そして此の 17°～20°C の水温帯というのが、*Doliolum* sp. のところで説明した様に、親潮前線上の水温帯の事なのである。

要するに、親潮前線の上では前線を離れた水域よりも採集量が多い事になるが、之は前線の性質が潮境であり、収斂性をもつている事から考えて当然の現象である。

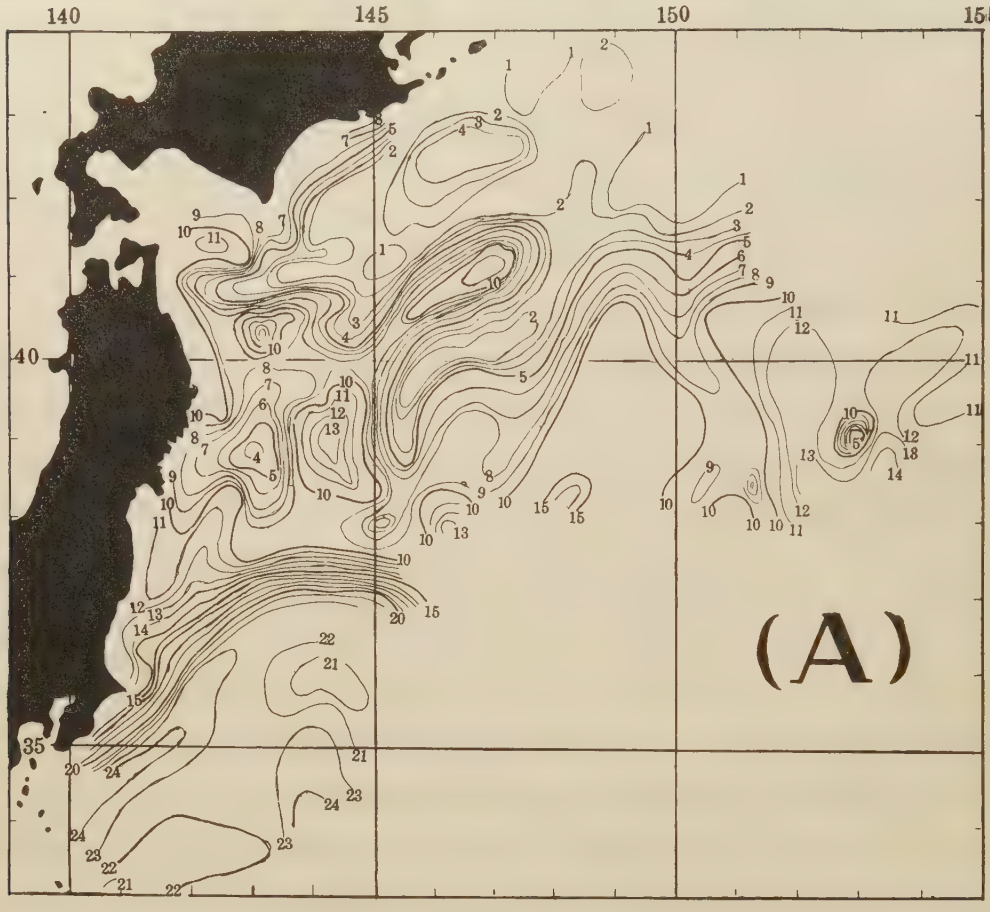
---

* 川合英夫　東北海区に於ける極前線帯とその変動について（第 1 報）〔東北水研　研究報告　第 4 号　昭和30年 3 月〕の第 1 図 (a), (b) (c) を参照の事。

** (17,5)・(17,6)……(20,17) 等は第 4 図の横軸表面水温，縦軸 100m 層水温の水温各 1°C 桝目に対する名称で、(17,5) は表面水温 17°C 台，100m 層水温 5°C 台の桝目を指している。他の括弧も同様である。

第5図　昭和27年8月・9月の 100m 層水温と表面水温の分布状態

（A）　8月の100m等温線　（川合英夫　東北海区に於ける極前線帯とその変動について　東北水研研究報告　第4号　1955年の第1図）



又前線の収斂性は表層に於いて起る現象であり、特に暖流水が前線に収斂する訳であるから、暖流性の *Muggiaea atlantica*, *Sagitta enflata* 及び *Doliolum* sp. が親潮前線の水域に多い事から、之等のプランクトンは表層に多く分布していたものと考えてよい。

要　　約

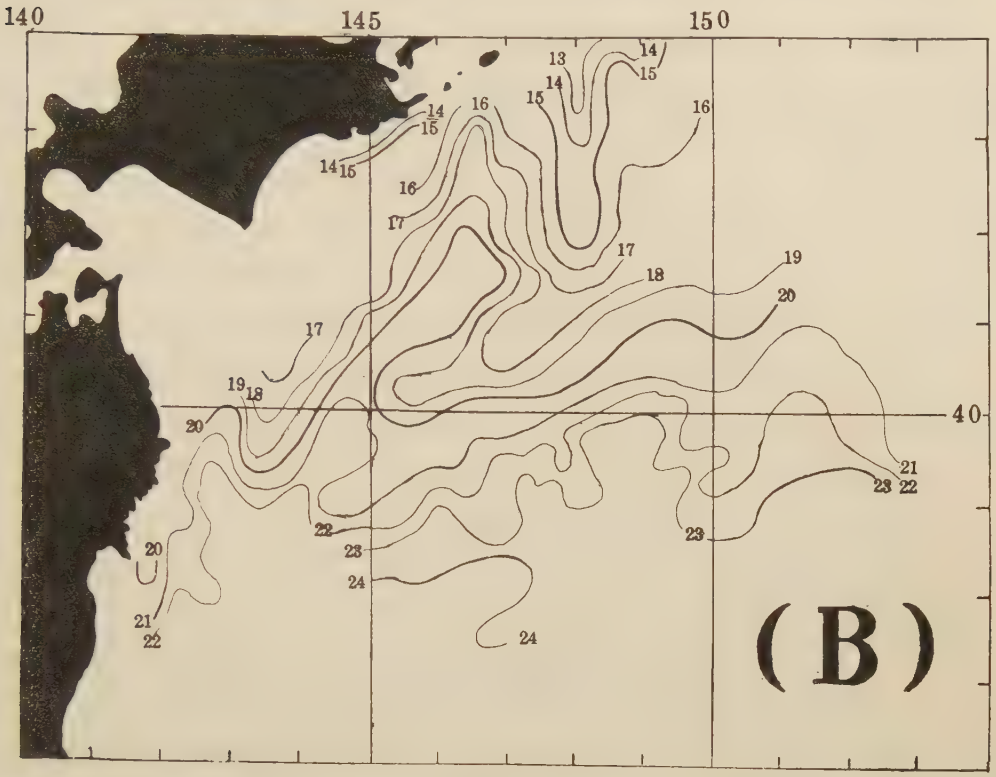
本報文ではプランクトンの水塊指標性の信頼度或は指標性の強弱に就いて吟味した。

資料は昭和25年～27年の3ケ年東北海区の海洋調査に際して採集された動物プランクトンの中、特に採集量の多かつた10種を選んで吟味した。

水塊指標性の吟味は採集点の表面水温と 100m層 水温の両方を用いて行われたが、寒流指標種と見られるものでは表面水温と採集量の関係はあまり明瞭でなく、100m層 水温との関係によつて指標性の強弱迄具体的に吟味する事が出来た。即ち採集水温を1°C毎の水温階層に区分し、各

第5図（続き）　昭和27年8月・9月の 100m 層水温と表面水温の分布状態

（B）　9月11日～16日の表面等温線　（東北水研漁況速報　昭和27年度　第28号）



水温階層毎に採集されたプランクトンの総個体数を採集回数で割つて、各水温階層の1回平均採集個体数を求め、その対数値を縦軸に，水温を横軸にとつてグラフを作ると、寒流指標性プランクトンは高温になる程採集個体数が減少し、グラフの上では近似的に直線で代表させる事が出来る。即ち各水温階層の平均採集個体数 n と水温 t の関係を下記の式にあてはめて考える。

$$n = C\ 10^{kt}$$

此処で C は常数（0°C台の階層の平均採集個体数）、k は温度による採集個体数の変化を示す係数（採集係数と略称する）で、此の k の値が寒流性プランクトンでは負数になり、k のマイナスの数値の大きい程指標性が強いという事になる。

此の方法で吟味すると

Calanus plumchrus	$k \fallingdotseq -0.16$	最高位	寒流指標性
Calanus cristatus	-0.16		
Eucalanus bungii	-0.10	次　位	〃
Metridia lucens	$-0.05 \sim -0.11$		
Themisto sp.	-0.08		
Calanus helgolandicus	-0.05	甚だ弱い	〃

但し、上記のプランクトンの採集個体数と表面水温との間には殆ど相関は認められないが、*Eucalanus bungii* 丈けは表面水温が高くなると採集個体数が幾分減少する傾向を示している。

暖流指標性プランクトンは採集個体数の対数値と水温の関係に於いて、当然 k が（＋）の値をとる筈である。*Doliolum* sp. は表面水温・100m層水温の両方に対して $k = +0.04$ 程度であるから、暖流指標性と云える。*Muggiaea atlantica* と *Sagitta enflata* は表面水温に対して夫々 $k \fallingdotseq +0.06$ 及び $k \fallingdotseq +0.04$ をあてはめ得るが、100m 層水温に対しては前者は 5°C 台に於いて、後者は 8°C 台に於いて最多採集個体数を示し、それ以下の水温では k は両種共に ＋0.20 程度の大きい値を示すが、それ以上の水温では $k \fallingdotseq -0.06$ になる。此の両種も一応暖流性と考えられるのであるが、下層水温に対する此の様な性質から見て、条件付暖流性と呼ぶ事にした。

Muggiaea atlantica 及び *Sagitta enflata* が 100m 層水温の 5°C 台と 8°C 台に於いて最多採集個体数を示す事、或は表面水温に対しては、*Doliolum* sp. が 17°～20°C 台で頗る採集量が多く、*Muggiaea atlantica* も 17°～20°C 台の採集量が多いという事は、此の水温帯が夏季親潮前線の水温に相当する事から、結局親潮前線の収斂性によつて前線へ多量に集められたものと考えられ、前線の収斂性は表層に於いて見られるのであるから、之等のプランクトンは表層プランクトンであると云う事になる。

之に反して寒流性プランクトンは親潮前線以南の東北海区では下層に多いから、表面水温とは相関を示さないのである。

以上指標性を吟味した 9 種のプランクトンの外に、もう 1 種東北海区で重要な *Euphausia pacifica* に就いては、之は表面水温に対しても 100m 層水温に対しても全く指標性が見られない。

東北水研　研究報告
第10号
Nov.　1957

日本近海のカツオ竿釣り漁業における漁況の変動について※
第 1 報

川　崎　　健

ON THE FLUCTUATION OF THE FISHERIES CONDITIONS IN THE LIVE-BAIT FISHERY OF SKIPJACK IN WATERS ADJACENT TO JAPAN. I.

By

Tsuyoshi KAWASAKI

1. The writer analyzed the catch statistics of skipjack in Japan during the period from 1905 to 1956. The catches of skipjack in recent years have presumably reached the uppermost limit in the present live-bait fishery.
2. Among the years from 1951 to 1956, 1951 and 1956 were the good years for the skipjack fishery and 1953 was the poor year in the North-Eastern Sea-Area along the Pacific coast of Japan. In general, the catch of the skipjack in the North-Eastern Sea-Area have the upper limit at 50 thousands tons in the good year and the lower limit at 26 thousands tons in the poor year.
3. Yearly fluctuations in growth rate and average body-weight of III-age-group were considerably large. There was the tendency that both the growth rate and the body-weight of the skipjack were large in the good years and small in the poor years.
4. It was estimated that the number of migrants was fewer in recent years than in the period from 1935 to 1941.
5. The writer made an estimate on the monthly number of caught fish of the III-age-group of each year, with the following results;
   (1) The migration of the III-age-group of skipjack to the North-Eastern Sea-Area ocurred in July and there were few migrants from south after August, and the fish in that region then decreased by fishing.
   (2) Judging from the discrepancy from the general decreasing curve, the oceanographical condition for the skipjack fishery was favourable in August, 1951 and July, 1956 but not in August, 1953.
6. In the good years for catch there was the tendency that the area of the fishing ground increased. The catch per unit area was also large in the good years.

※ 東北海区水産研究所業績　第 102 号

目　　次

I. まえがき
II. カツオの総漁獲量の変動について
III. 東北海区のカツオの漁獲量の変動の統計的検討
III.（1） 各年の増重の比較
III.（2） 各年の3年魚の漁獲尾数の変動
III.（3） 各年の漁場面積の変動
IV. 要　約
V. 文　献

I. ま え が き

カツオを対象とする漁法は竿釣りと旋網が主なものであるが、漁獲の大部分は竿釣りで行われる。従つて我々がカツオ漁業という場合には、一般に竿釣り漁業を指しているのである。カツオの竿釣り漁業というのは、しかし乍ら、カツオのみを対象としているのではない。時期・海区・付きものによつて異るが、カツオの他にキハダ・メバチ・ソーダガツオ・シイラ・サワラ等をかなりの程度に混獲し、特に春の時期には専らビンナガに集中的に努力が向けられる。第1表にみるように、カツオ一本釣漁業の漁獲物の中でカツオの占める割合は、少い年には半分を少し上廻る程度である。

第1表　カツオ一本釣り漁業における全漁獲量とカツオ漁獲量　（単位：千貫）

	昭和27年	昭和28年	昭和29年	昭和30年
全漁獲量	38,544	31,576	37,326	38,728
カツオ漁獲量	20,938	17,479	23,468	24,673

本報告では、竿釣りで漁獲される魚の漁況の変動を、釣り漁業という立場からカツオに限らずに解析して行く。解析の方針としては、漁獲統計・生物統計と海況との両面から検討を加える。第1報では、カツオの総漁獲量の長年の統計の解析と、東北海区で漁獲されるカツオの統計の解析を行う。

II. カツオの総漁獲量の変動について

長期の漁獲量の変動をみる場合に我々が利用出来るのは農商務統計と農林統計である。これらの統計は、昭和23年以前はすべて属人主義で集計された各府県からの報告に基いていたのである。それが昭和26年以降にははつきりと属地主義で集計され、又集計の方法も係員の実測に基く厳密な推計学的方法に切りかえられたのである。従つて、古い統計と新しい統計を地域別に比較する

ことは一般に無意味である。又古い統計は小標本理論に基いていないために精度もわからないが恐らくかなり低いものと思われる。従つて、短期の地域別の検討をすることは、昭和25年以前はあまり意味が無いのである。しかしながら、統計値は明治38年以降52年間という長期にわたつているため、長い年月の全体的な傾向をみるという場合には、その時期時期の経済的な諸条件と海況漁況を考慮に入れるならば十分有用である。以下に漁獲量の統計と年々の漁撈努力すなわち漁船の隻数とトン数の統計を対照して検討する。尚、昭和23年以降の漁撈努力の統計には鮪専用船も含まれている。

カツオ漁業は嘗ては沿岸漁業であつた。江戸末期頃までは漁場は駿河湾とか或いは岸からほんの数浬のところが主で、それでも坊村の如きは1双あたり1万本～2万本（5,000〆～10,000〆）の漁をしていた。従つて漁法も釣のみではなく、地曳網、建切網、揚繰網、台網、旋網等が盛に用いられ、地曳などは富士川の川口で行われた。

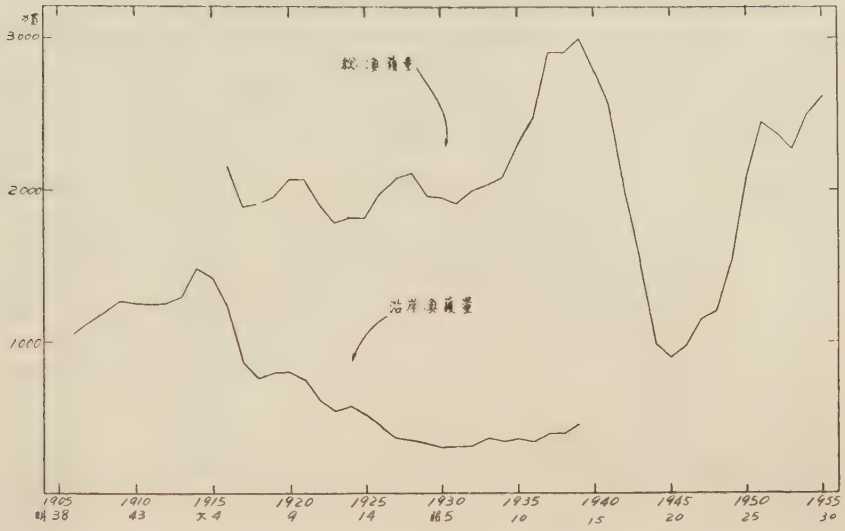
この様に非常にカツオが接岸していたのであるが、それが明治になつてから段々と接岸しなくなつた。こういつた状況と明治末年以降の漁船動力化の気運とがマッチして、カツオ漁業は沿岸漁業から急速に沖合漁業へ移行した。この間の事情は第2表および第1図から明らかである。すなわち大正6年になると沿岸漁獲量と沖合漁獲量が逆転し、昭和に入つてからは沿岸漁獲量は非常に小さくなつている。従つて総漁獲量を検討する場合には、少くとも大正9年の前と後では別個に扱う必要がある。この事情は漁船の増加の傾向ともはつきりと一致する。すなわち大正10年までは無動力船の減少と動力船の船数およびトン数の両者の増加がみられる。それ以降しばらくの間は第1次世界戦争後の不況を反映してトン数の増加はみられないが、船型は絶えず大型化して居り、合理化が着々と行われている傾向がみられる。このことは当然に漁獲強度の強化を意味しているのであるが、それ程大きなものとは考えられない。又この時期すなわち大正10年から昭和8年までの時期には総漁獲量にも大きな変動がみられず、資源の availability が安定していたことを意味している。昭和5年から15年にかけては戦前の日本漁業の最盛時であつた。この時の好景気の波に乗つてカツオ漁業はそれまでの沈滞を破つて発展している。すなわち昭和9年から総トン数は急激に増大している。これに応じて総漁獲量も増大し、昭和13年には3千万貫を突破している。このことは何を意味しているかといえば、昭和10年以前の時代においては available stok の漁獲死亡率が大して大きくなかつたので、漁撈努力の増加に対応して漁獲量が増加したということが一つである。もう一つは単位漁撈間の干渉度が余り大きくなかつたことである。

このようにして増大した漁獲量は、その後急激に減少している。これは勿論太平洋戦争によるものであつて、この期間については論じても無駄である。終戦から昭和24年までは所謂統制の時代であり、漁獲量は極度に過少に集計されている。このことは、昭和25年になつてから漁獲量が急激に増大していることでも判る。26年以降は統計調査部で精度のわかつた調査をしているので十分信頼出来る。昭和26年～31年の漁獲量を平均すると約2,500万貫となる。この値は昭和11年

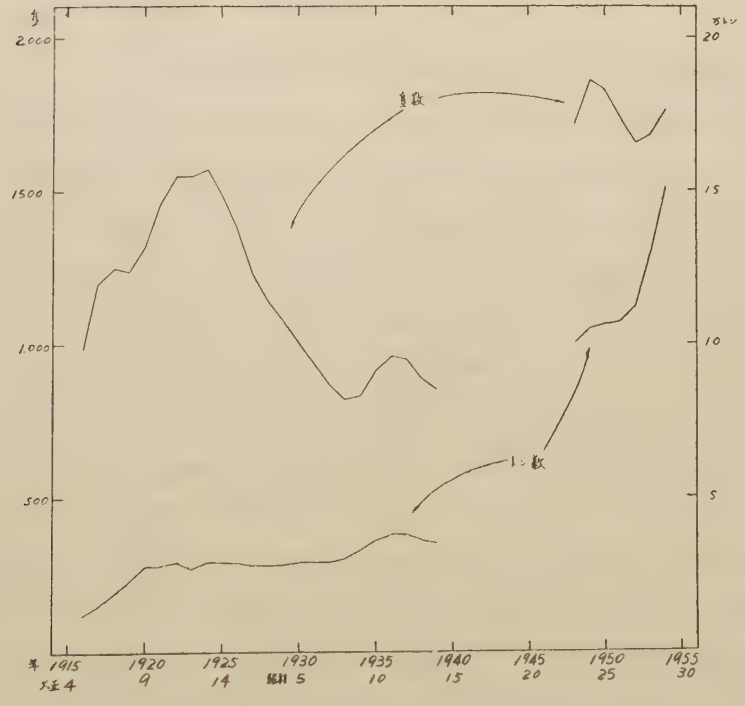
～16年の平均値の2,800万貫よりもいくらか低い。漁船数およびトン数をみると、戦後の場合は鮪専用船を含んでいるとはいえ、鰹鮪兼用船の数およびトン数が戦前の水準を大きく上廻つていることは間違いない。又昭和10年台には東北海区での漁場の東限が152°Eであつたが（木村[1]を参照）戦後は東へ伸び昭和31年には遂に160°Eを突破して166°Eに及んで居り（第3表）漁場範

第2表　明治38年以降の漁獲量・漁船数および漁船トン数の統計

年		漁獲量（貫）			漁船								
		沿岸	沖合	計	日本形	西洋形		動力無	動力有				
									蒸気			発動機	
1905	明38	11,185,188											
6	39	11,662,803											
7	40	8,808,254											
8	41	13,360,860											
9	42	13,741,380											
10	43	11,037,914			双	双	t						
11	44	13,191,892			629	193	2,868						
12	大1	13,297,933			560	179	3,427						
13	2	11,275,490			494	166	3,114						
14	3	14,338,087						双	双	t	双	t	
15	4	19,205,261	7,586,178	26,791,439				346	14	274	688	7,993	
16	5	9,477,679	6,706,395	16,184,074				358	56	654	956	11,016	
17	6	8,866,856	13,082,947	21,949,803				146	52	624	1,307	16,696	
18	7	7,695,954	10,931,405	18,627,359				112	1	49	1,354	17,653	
19	8	6,680,281	10,402,789	17,083,070				157	1	49	1,088	24,080	
20	9	9,538,269	13,981,867	23,520,136				52	1	49	1,310	26,175	
21	10	8,178,138	13,585,709	21,763,842				3	34	556	1,565	33,337	
22	11	5,176,899	12,232,467	17,409,366				7	1	187	1,494	24,477	
23	12	5,341,641	12,735,940	18,077,581				20	1	187	1,605	28,381	
24	13	6,097,728	12,110,782	18,208,510							1,566	29,340	
25	14	5,859,338	12,684,854	18,544,192							1,548	29,744	
											1,355	28,822	
26	昭1	3,930,174	14,408,046	18,338,220									
27	2	3,597,194	19,257,969	22,855,163							1,221	27,300	
28	3	3,971,176	17,559,195	21,530,371							1,121	28,474	
29	4	3,196,382	16,040,225	19,236,607							1,067	28,428	
30	5	2,967,021	15,377,896	18,344,917							1,048	28,224	
31	6	3,031,434	18,394,324	21,425,758							909	29,719	
32	7	3,655,125	14,250,971	17,906,096							883	28,487	
33	8	3,241,696	17,374,258	20,615,954							806	28,824	
34	9	4,260,064	18,384,660	22,644,724							787	33,691	
35	10	2,911,153	16,524,676	19,435,829							910	36,544	
36	11	4,062,218	22,880,510	26,942,728							1,044	39,209	
37	12	3,422,167	24,820,381	28,242,548							924	36,565	
38	13	4,630,745	27,857,344	32,218,089							890	37,182	
39	14	3,802,435	23,003,536	26,805,971							851	35,967	
40	15	5,397,161	25,629,366	31,026,527							800	33,115	
41	16			24,434,361									
42	17			21,257,319									
43	18			13,784,240									
44	19			10,571,078									
45	20			5,240,740									
46	21			11,052,558									
47	22			12,995,265							1,719	94,116	
48	23			10,857,703							1,811	101,008	
49	24			12,392,155							1,893	106,897	
50	25			22,566,900							1,895	108,753	
51	26			27,815,700							1,698	103,978	
52	27			22,913,000							1,590	108,321	
53	28			19,384,000							1,672	124,132	
54	29			25,651,000							1,801	154,133	
55	30			26,567,000							1,825	176,243	
1956	31			26,130,000									



第1図（A） 明治38年～昭和31年のカツオ総漁獲量および沿岸漁獲量の変動（3年毎の移動平均値）。



（B） 大正4年～昭和31年のカツオ船の隻数および総トン数の変動（3年毎の移動平均値）。但し昭和22年以降はマグロ専用船を含んでいる。

囲も拡大して居る。このように漁撈努力および漁場範囲の増大にもかかわらず漁獲量が増大しない原因としては、来游量の減少と availability の減少（餌付の低下）も考えねばならないが、それと共に現在の漁法（釣漁法）での限界を示していると考えられる。すなわち、現在の漁法での available stok の漁獲死亡率が大きく、従つて漁撈努力を増しても総漁獲量が増さないのと、もう一つは単位漁撈間の干渉が大きくて効率が非常に悪いことである。この後者の場合は所謂寄せ船が非常に多くて、最近では1群を1隻で釣る場合があまりないことに現れている。

availability というのは漁法に関連した相対的な概念であるから、available stock の漁獲死亡率が大きいということは何も資源全体を考えた場合の漁獲死亡率が大きいということではない。群が沢山居ても釣れるのはほんの一部分であるので、東北海区に北上したカツオですらその一部分しか獲つて居ないのである。

いずれにせよ漁場範囲が日本近海に限られている限りは乱獲のおそれは無いと思われる。その理由としては

（1） 漁獲の対象がせいぜい二つの年令群であり、しかも産卵群でないこと。

（2） 産卵量が非常に大きいこと。

（3） 東北海区に来游する量は全体の一部に過ぎないこと。

をあげることが出来る。

III. 東北海区* のカツオの漁獲量の変動の統計的検討

II で述べたように我国の漁獲量の統計は昭和26年から小標本理論に基いた精度の確定した調査に基礎を置いて居り、又属地主義が確立されてすべて水揚地で集計されている。このことは統計を用いて資源の変動を検討する場合には極めて好都合である。一方本水研では同じく昭和26年からカツオの水揚される主要漁港（枕崎，焼津，清水，塩釜，石巻，女川，気仙沼）で、入港船全数の漁獲量・漁獲位置の聞き取りと系統抽出法に基く魚体組成の推定を行つている。以下これらの資料を用いて、昭和26年～31年の漁獲量の変動を漁獲統計と生物統計の両面から検討する。

各年の東北海区での漁況の変動を論ずるためには、先ず東北海区での漁獲量を推定せねばならない。先ず千葉県以北でのカツオの陸揚げはすべて東北海区での漁獲物と考えて差支えない。東京都以南では、東京・三崎・清水・焼津の4港にかなり東北海区での漁獲物が揚げられる。このうち清水および焼津での陸揚量は、本所の調査票から拾い出して集計することによつて大体正確にわかる。東京および三崎については、入港船の調査を組織的に行つていないのでわからない。従つて筆者は漁獲量の推定値として、統計調査部の調査による千葉以北の陸揚量に、清水および焼津での本所の調査による東北海区で獲られたものの陸揚量を加えたものを使用した。従つてこれは最小推定（minimum estimate）である。この値に東京および三崎での陸揚量を加えると、

* ここで東北海区というのは、野島崎南南東線の東側から三陸沖合に至る海区を指している。

第3表　東北海区よりの陸揚量・3年魚の平均体重および陸揚尾数の推定値

月	東北海区よりの陸揚量	近海グループ		近海グループの3年魚			
		割合	陸揚量	割合	陸揚量	平均体重	尾数
	千貫	%	千貫	%	千貫	貫	千尾
昭和26年5月まで	569						
6月	648						
7月	3,674			98.7	3,626	0.70	5,180
8月	4,907	94.8	4,657	93.3	4,345	0.64	6,790
9月	2,502	71.0	1,778	74.2	1,319	0.88	1,500
10月	1,190			82.8	985	1.04	946
11月	67						
計	13,557						14,416
昭和27年5月まで	108						
6月	859						
7月	3,362			98.7	3,318	0.70	4,740
8月	1,703			85.1	1,620	0.74	2,170
9月	1,912			79.1	1,512	0.85	1,780
10月	797			77.2	615	0.98	627
11月	8						
計	8,709						9,317
昭和28年5月まで	369						
6月	245						
7月	2,262			96.0	2,172	0.63	3,440
8月	1,116			84.1	939	0.65	1,450
9月	1,555			88.9	1,382	0.76	1,820
10月	1,052			92.9	977	0.85	1,150
11·12月	71						
計	6,670						7,860
昭和29年5月まで	377						
6月	518						
7月	2,362					0.57	4,130
8月	2,064			98.5	2,035	0.59	3,450
9月	2,248			82.9	1,863	0.70	2,674
10月	905			89.6	811	0.75	1,086
11·12月	19						
計	8,493						11,340
昭和30年5月まで	688						
6月	612						
7月	2,862					0.64	4,500
8月	1,519			97.4	1,480	0.79	1,880
9月	1,166			90.3	1,053	0.81	1,310
10月	882			97.6	861	0.93	930
11月	39						
計	7,768						8,620

		160°E 以西		160°E 以西の3年魚			
		割合	陸揚量	割合	陸揚量	平均体重	尾数
		%	千貫	%	千貫	貫	千尾
昭和31年5月まで	253						
6月	943						
7月	4,662					0.64	7,290
8月	2,150	87.6	1,883			0.74	2,550
9月	2,581	91.9	2,374	85.7	2,036	0.85	2,390
10月	1,651			85.5	1,412	0.89	1,590
11·12月	228						
計	12,470						13,820

東北海区での漁獲量が確定するわけである。

以上のようにして集計した値を第3表に示す。これから，漁獲量からいえば26年と31年は大漁

であり28年は非常に不漁であつたことがわかる。漁獲量の変動は全国の総漁獲量の場合に較べて大きく、28年と26年の比較では1：2となつている。

このような漁獲量の変動がどういう原因に基くものであるかは今後の検討に待たねばならないのであるが、その前にこの漁獲量の内容を分析する必要がある。かつて筆者[2]が述べたように、東北海区のカツオは量的にも多く又安定した成長を示すところの主群としての3年魚と、多少とも偶然的な要素としての2年魚から成つている。又年によつては沖合グループが出現する（川崎[3),2)]）。以下各年の漁獲量をグループ毎・年令毎に分け、特に近海グループの3年魚について、漁獲量の月間変動を検討する。

漁獲量を3年魚と若年魚に分離するには次のようにした。東北海区のカツオの体重組成の度数分布は、体長組成の場合と同様に年令間に明瞭な谷が現れる。この谷を境にして3年魚と2年魚との重量比を求め、これによつて漁獲量を分割した。グループ毎に漁獲量を分割するのには、漁況報告からの集計値の比率に基いた。

3年魚については更に体重分布から平均体重を求め、漁獲尾数を算出した。以上の計算の結果を第3表に示す。第3表を検討する場合には東北海区のカツオ漁場の沖合への伸展の経過とグループ関係の変動を考慮する必要がある。すなわち、IIでも述べたように昭和10年～22年のカツオ漁場は152°Eより沖合には形成されなかつた。これは近海の漁況がよかつたためもあるが、主として漁船の航海能力による制約のためであつた。戦後カツオ漁船は急速に大型化し、23年には、155°E，24年には158°Eと次第に東限を伸し、25年には160°Eに達した。この状態は30年まで続いたが、31年には一挙に166°Eにまで漁場が伸びている。従つて26年～30年と31年とはこの点を区別せねばならない。又かつて筆者が指摘したように（川崎[3),2)]）、昭和23年～26年には沖合グループが出現し、27年には現れていない。28年以降についても沖合グループは漁場に出現しなかつた。従つて26年だけは沖合グループを分離する必要がある（便宜上154°Eを境にして分離した）。

すなわち26年の漁獲量からは沖合グループを分離し、31年の漁獲量からは160°E以東の新漁場で漁獲されたものを差引き、同じ条件にして3年魚の尾数を算出した。26年には7月の平均体重が6月のそれより大であるがこれはこの時の体長分布がかなり強い正の非対称を示している（川崎[2)]を参照）ことからわかるように、この年の特徴的な現象として4年魚の小型のものがかなり混つているためである。従つて、昭和26年7月の陸揚尾数は過少に見つもられている。

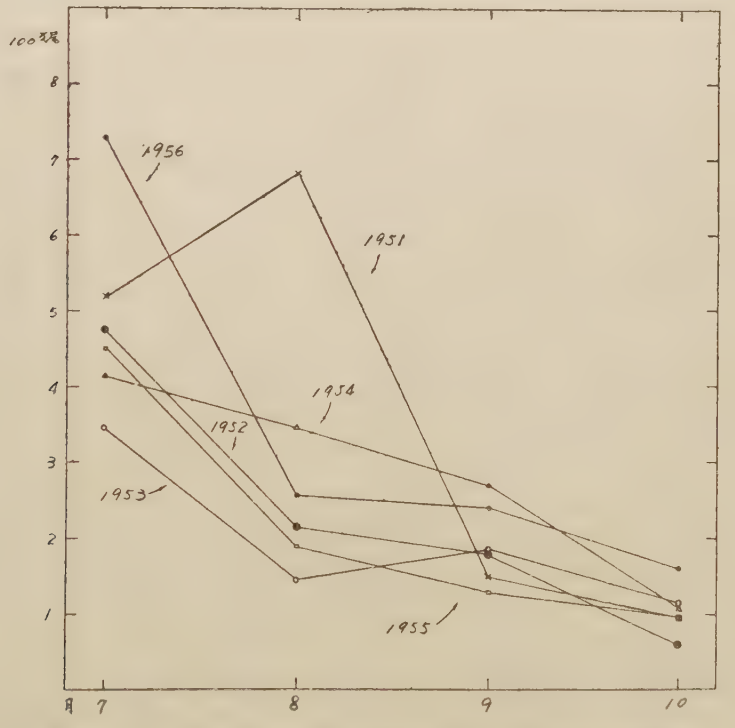
（1） 各年の増重の比較

東北海区で漁獲される3年魚の魚体の大きさの時間的変化は成長と見做されるから（川崎[2)]を参照）第3表の平均体重の経過で増重の模様を推定することが出来る。平均体重の年による差はかなり大きく、昭和26年10月と29年10月では300匁の開きがある。年関変動に注目すると、昭和26年には増重率も大きく魚体も大きかつたが次第に両者とも減少し、昭和29年には最低に達して居り、それが30年・31年と次第に大きくなつている。この傾向は先に述べた漁獲量の変動の傾向

と一致している。すなわち，豊漁年には増重率も魚体も大きく，不漁年には小さいという一般的傾向が存在する。7月の平均体重の変動係数と10月のそれを比較すると，7月には7.6%であるが10月では11.1%でありかなり大きくなつている。このことは漁期始めの平均体重の差による違いは大して大きくないが，その後の増重率に差があるために10月には平均体重にかなりの違いが出て来ることを意味している。すなわち豊漁年には相対的に餌料が多く成長がよいわけである。このことは，漁獲の豊凶は個々の群の餌付の良否よりも，むしろ来游量の変動に支配されることを示していると考えられる。このことからも，近年は昭和10年台に比べて来游量が減少していると推定される。

（2） 各年の3年魚の漁獲尾数の変動

第3表には3年魚の7月～10月の総漁獲尾数を示してある。これとその年の総漁獲量との対応から，総漁獲量の変動は主として近海グループの3年魚の変動に依存していることがわかる（もつとも，昭和29年には平均体重が極端に小さいために昭和27年と順序が入替つている）。



第2図　7月～10月の160°E以西の近海グループ3年魚の漁獲尾数。

第3表に基いて第2図を描き3年魚の漁獲尾数の変動を示した。最豊漁年の昭和26年と最不漁年の昭和28年を除いて，漁獲尾数は7月から10月に向つて漸減している。この一般的傾向は，その年の3年魚の東北海区への投入がほとんど7月に行われ，8月以降は添加が無く漁獲のために存在量が減少して行くことを示していると考えられる。このことは，東北海区に於ける3年魚の

第4表　東北海区における各年・各半旬・水域別の漁場面積。

1単位は緯度経度30分桝目。

	昭和26年			昭和27年			昭和28年			昭和29年			昭和30年				昭和31年			
	154°E以西	154°E～160°E	計	154°E以西	154°E～160°E	計	154°E以西	154°E～160°E	計	154°E以西	154°E～160°E	計	154°E以西	154°E～160°E	160°E以東	計	154°E以西	154°E～160°E	160°E以東	計
4 下後				3		3				3		3	1			1	1			1
5 上前				3		3				6		6	3			3	2			2
〃 後				4		4	1		1	4		4	18			18	2			2
〃 中前	12		12	15		15	11		11	22		22	29			29	13			13
〃 後	17		17	18		18	54		54	35		35	38			38	22			22
〃 下前	34		34	12		12	38		38	32		32	53			53	15			15
計	63		63	55		55	104		104	102		102	142			142	55			55
5 下後	24		24	19		19	16		16	50		50	40			40	42			42
6 上前	20		20	20		20	22		22	37		37	36			36	38			38
後	15		15	14		14	8		8	21		21	27			27	25			25
中前	15		15	25		25	12		12	23		23	36			36	18			18
後	8		8	42		42	22		22	39		39	43	10		53	58	3		61
下前	30		30	53		53	56		56	46		46	65	15		80	69	5		74
計	112		112	173		173	136		136	216		216	247	25		272	250	8		258
6 下後	44		44	80		80	82		82	69		69	73	11		84	45	13		58
7 上前	41		41	76	6	82	88	6	94	60	4	64	105	17	1	123	46	26	14	86
後	51		51	87	2	89	62	3	65	69	10	79	97	9		106	98	14	12	124
中前	99		99	89		89	74		74	65	19	84	102	8	1	111	82	4	3	89
後	101		101	88		88	74		74	43	10	53	78			78	67			67
下前	104		104	84		84	76	1	77	86	12	98	55	3		58	65	3		68
計	440		440	504	8	512	456	10	466	392	55	447	510	48	2	560	403	60	29	492
7 下後	120	4	124	70	1	71	56		56	109	6	115	67	9		76	55	1		56
8 上前	93		93	73	4	77	63		63	103		103	67	1		68	101	9		110
後	78		78	63	5	68	36		36	90	5	95	68	7		75	92	21	3	116
中前	78		78	58	4	62	47		47	83	2	85	28	6		34	58	21	5	84
後	76	2	78	28	16	44	44		44	43	1	44	27	25		52	43	12	17	72
下前	61	16	77	34	15	49	40	2	42	68		68	29	15		44	50	3	9	62
計	506	22	528	326	45	371	286	2	288	496	14	510	286	63		349	399	67	34	500
8 下後	46	26	72	33	18	51	37		37	68	3	71	36	21		57	38	10	14	62
9 上前	31	17	48	30	10	40	41		41	40		40	32	6		38	37	11	15	63
後	42	15	57	31	7	38	44		44	47		47	36	8		44	31	7	8	46
中前	63	4	67	47	2	49	53		53	37	1	38	27	11		38	28	15		43
後	52		52	35		35	40		40	25		25	36	3		39	42	6	1	49
下前	39		39	35	3	38	17		17	58		58	20	4		24	30	4		34
計	273	62	335	211	40	251	232		232	275	4	279	187	53		240	206	53	38	297
9 下後	36		36	28	3	31	18		18	32		32	19	7		26	24	5		29
10 上前	40		40	16		16	15		15	26		26	8	3		11	35	7	1	43
後	19		19	19		19	28		28	33		33	24	1		25	29	14	1	44
中前	19		19	15		15	19		19	19		19	22			22	29	1		30
後	10		10	9		9	13		13	14		14	21			21	25	1		26
下前	13		13	6		6	4		4	5		5	9			9	27	8		35
計	137		137	93	3	96	97		97	129		129	103	11		113	169	36	2	207
10 下後				4		4				4		4	9			9	22	5		27
11 上前																14				
後																6	7			7
中前																4	4			4
後																1				
下前																	2			2
計				4		4				4		4	9			34	35	5		18
総計	1,531	84	1,615	1,366	96	1,462	1,311	12	1,323	1,614	73	1,687	1,484	200	2	1,686	1,517	229	103	1,849

一貫した成長の模様（川崎[2]）から当然予想されたことであつた。

最豊漁年と最不漁年に於て漁獲尾数漸減の一般的傾向からの喰い違いがみられることは、これらの年が海況的に特異であつたと考えられる。喰い違いは両年とも8月にみられる。すなわち昭和26年の8月にはカツオ漁にとつて非常によい海況条件であつたし、28年の8月には悪い海況条件であつたといえる。又31年の減少の経過を他の年と比べると7月が異常によい。このことから31年の7月の海況条件は好適だつたといえよう。従つてこれらの年の海況条件を分析することによつて、竿釣り漁業と海況条件との対応関係を知ることが出来る。

（3） 各年の漁場面積の変動

第4表に漁獲のあつた緯度経度30′ 桝目の数を5日毎に集計して示した。すなわち、1単位が約750浬²に当る。第3表の場合は陸揚期間による集計であるが、この場合には漁獲期間による集計である。従つて第3表と対応させる為に、第4表は5日ずらせて1月の集計を行つた。5日ずらせたのは、カツオ漁船の東北海区での平均航海日数が約10日であることに基いた*。集計は近海、沖合、遠洋に分け 154°Eと 160°Eで切つて行つた。7月以前（7月を含む）の 154°E以東のカツオ漁場はビンナガの漁場に附随したもので、独立したカツオ漁場としての性格を一般に持つていないので、このことを考慮して第4表を検討する。昭和26年から31年へかけての傾向としては、28年および29年にはカツオの沖合漁場は8月以降にはほとんど成立せず、沖合漁場面積に関しては26・27年および30・31年に挟まれた谷となつている。一般に生物に於ては、その種の個体数が増加した時には分布のひろがりが増大する。従つて上の事実は28年および29年には来游量が非常に少かつたと考えてもよいであろう。この傾向は平均体重および漁獲尾数の変動の傾向と一致している。

漁場面積の年計の変動をみると、傾向としては総漁獲量・増重率・3年魚の尾数と同様に、昭和26年から次年に減少し再び増大している。しかし、個々の場合には必ずしも総漁獲量とは対応していない。

次に単位漁場面積当りの漁獲量を計算してみる（第5表）。年間の漁獲量に於ては豊漁年程単位面積当りの漁獲量が大きい。又豊漁月（26年8月と31年7月）にはこの値も大きく、不漁月（28年8月）には小さく、漁獲量と平行関係にあることがわかる。

第5表　東北海区における各年各月の単位漁場面積当りの漁獲量（単位：貫）

年 月	26	27	28	29	30	31
6	5,800	5,000	2,400	2,400	2,400	3,700
7	8,300	6,600	4,900	5,300	5,100	9,500
8	9,300	4,600	3,900	4,000	4,300	4,300
9	7,500	7,600	6,700	8,100	4,900	8,700
10	8,700	8,300	10,800	7,000	7,800	8,000
年間	8,400	6,000	5,000	5,000	4,600	6,800

* 東北海区水産研究所[4]による。

終りに当り御指導をいただいた本所長木村博士に厚く感謝する。又調査に参加された東海大学水産研究部および本所資源部の各位ならびに調査に協力された各漁船の乗組員・各魚市場の方々に感謝する。

IV. 要　　約

1. カツオの漁獲量の明治38年以降の統計を検討した。現在の漁獲量は釣漁法での限界に達していると考えられる。
2. 東北海区では昭和26年～31年の期間では、26年と31年が好漁年で、28年が不漁年であつた。東北海区での漁獲量は、好漁年1,300万貫不漁年700万貫が大体の上下限であると思われる。
3. 3年魚の増重率および平均体重の年変動はかなり大きく、又好漁年には増重率も魚体も大きく不漁年には小さいという傾向がある。
4. 近年は昭和10年台に較べて来游量が減少していると考えられる。
5. 各年の3年魚の月別の漁獲尾数の推定を行つた。その結果、3年魚の東北海区への投入はほとんど7月に行われ8月以降は添加が無く、漁獲のために存在量が減少して行くものと思われる。又一般的な減少曲線からのハズレから、昭和26年8月と31年7月は海況条件がよく、28年8月には悪かつたと推定される。
6. 好漁年には漁場面積が増大し不漁年には減少する傾向がある。又単位漁場面積当りの漁獲量も好漁年（月）程大きい。

V. 文　　献

（1） 木村喜之助（1949） カツオ漁場図集，東京：黒潮書房
（2） 川崎健：東北水研報告，4，101～119，（1955）
（3） 川崎健：東北水研報告，1，1～14，（1952）
（4） 東北海区水産研究所（1955） 昭和26年度海洋資源年報　カツオ資源篇

東北水研　研究報告
第10号
Nov. 1957

日本近海の竿釣りビンナガ漁業における漁況と海況との関係について※
第2報　黒潮前線の北側の漁場

川　崎　　健

RELATION BETWEEN THE LIVE-BAIT FISHERY OF ALBACORE AND THE OCEANOGRAPHICAL CONDITIONS IN WATERS ADJACENT TO JAPAN.
II. THE FISHING GROUNDS NORTH OF THE KUROSHIO FRONT.

By
Tsuyoshi KAWASAKI

The fishing ground of live-bait albacore fisery was formed in the Transition Area north of the Kuroshio Front in the years, 1947, 1948 and 1950. The writer examined the conditions for the formation of the fishing ground and the following results were obtained.

1. The fishing ground is formed within the isolated warm water mass which is accompanied by the anticyclonic eddy.
2. The chlorinity is over 19.00‰ even at the surface.
3. Water temperature of the surface layer exceeds 17°C.

The writer also studied the properties of the warm water mass in 1948 and 1950 and found that:

1. It is assumed that the warm water mass travelled in large scale clockwise pattern in 1948 and 1950.
2. The warm water mass is formed by the meandering of the Kuroshio Front in early spring and is connected with the Kuroshio Area at the surface as well as at the subsurface layer in its early stage. This water mass receives energy from the Kuroshio Area by the temporary connection in the subsurface layer and that is maintained to late fall.
3. The water mass in 1950 was larger than that in 1948 in scale and the variation of its properties was small but in 1948 the variation was considerably large.

The fishing ground of albacore was formed only when the water temperature in the surface layer exceeded 17°C and the chlorinity at the surface was over 19.00‰.

※ 東北海区水産研究所業績　第103号

目　　次

【I】まえがき

【II】各年における漁場水域の海況について

(II, 1)　昭和23年のビンナガ漁場

(II, 1, 1)　6月中旬後半の銚崎沖のビンナガ漁場

(II, 1, 2)　6月下旬前半の銚崎東200～300浬のビンナガ漁場

(II, 1, 3)　8月下旬の北海道南東のビンナガ漁場

(II, 2)　昭和25年8月の鮫角沖のビンナガ漁場

【III】以上の総括

【IV】昭和23年および25年の東北海区の孤立暖水塊について

(IV, 1)　昭和23年の暖水塊

(IV, 2)　昭和25年の暖水塊

【V】総　　括

【VI】要　　約

【VII】文　　献

【I】まえがき

筆者は第1報（川崎[1]）に於て黒潮前線の南側のビンナガ漁場について考察し、漁場成立の条件を検討したが、第1報で説明したように、ビンナガマグロは北半球に於ける典型的な黒潮系の回游魚であり、その主要な棲息範囲は亜熱帯収連線と黒潮の流軸（黒潮前線）の間である。しかし夏季に於て、或る年には前線を越えてはるか北方に漁場の形成されることがある。この現象は昭和11年～31年の間では、特に22年・23年および25年の3ケ年にみられている。本報告では、この黒潮前線の北側の漁場がどういう海況条件の時に形成されたかについて考察する。

尚冬季には一般に12月・1月に前線の北側で延縄漁場が成立するが、この場合については追つて延縄漁業の漁場条件を考察する際に述べることにする。

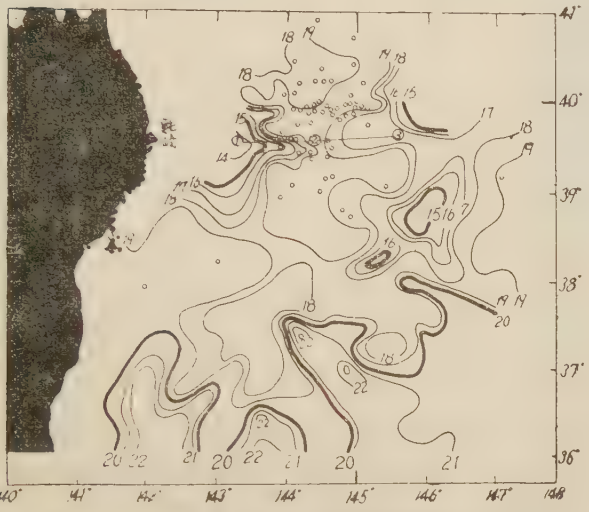
【II】各年における漁場水域の海況について

前に述べたように、黒潮前線の北側に漁場が形成されたのは昭和11年以降では22年・23年および25年の3ケ年である。この3ケ年は東北海区の表面水温の異常に高い年であつて、黒潮系の高温高塩水が強く張り出したのである（南日[2]，川合[3]）。22年は終戦後間もない年であつて、観測資料がほとんど無く、海洋条件の考察は出来ないが、23年・25年にはかなりの資料があるので、この両年について十分に検討してみる。

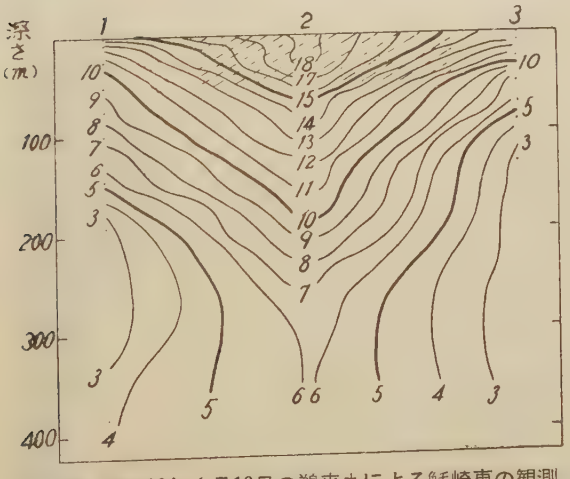
(II, 1)　昭和23年のビンナガ漁場

(II, 1, 1)　6月中旬後半の銚崎沖のビンナガ漁場

この年は漁場は銚崎沖に出来ている（第1図）。この漁場は表面等温線をみても黒潮前線の北側の混合水域に切離された暖水塊であつて、時計廻りの渦流を伴つていると考えられる。この漁場を横切る鉛直断面* の各等量線をみても(第2図)、この水域が高温・高塩な水域であり、水温は表面に於ても周囲よりもかなり高くなつている。前線の南側の場合には、第1報で示した通り、表層では周囲よりも低温であるが、漁場位置がこのように北偏している場合には、周囲よりも高温であるのは当然のことである。塩素量が中心部では、表面に於ても19.0‰以上であることは注目すべきであつて、この様な現象は夏の混合水域(川合[3]) に於ては稀なことである。水温分布から考えると、ここではビンナガの棲息層は 50m以浅であり（下限を17°Cとして）非常に薄く、魚群は常に表層を回游していたと考えられる。この表層は鉛直安定度が低いことも断面図から容易に看取出来る。



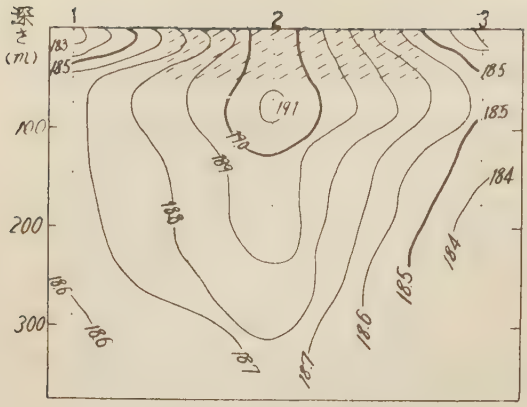
第1図　昭和23年6月中旬後半の表面等温線およびビンナガ漁獲位置。銚崎東の線は6月18日の鵜来丸による観測線。



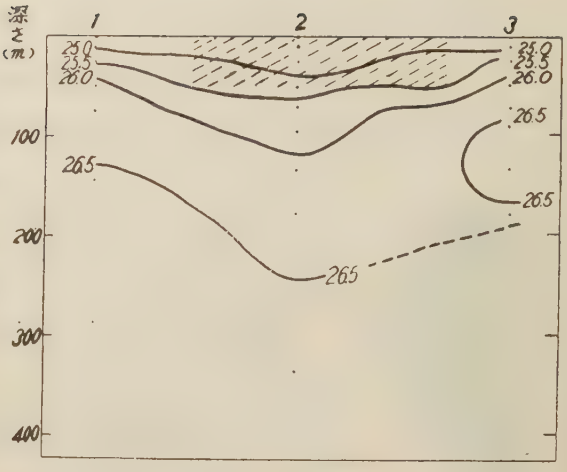
第2図　昭和23年6月18日の鵜来丸による銚崎東の観測、測点番号については第1図を参照。斜線を引いた部分は漁場位置である。
A　水温の断面附図

尚前年の昭和22年には、37°～40°N 144°～146°Eの範囲に6月11日から7月15日にわたつて35日間も漁場が形成されている(木村[4] を参照)。この漁場も典型的な孤立暖水塊の中に形成されて居り、海況条件は23年の場合と同様であつたと考えられる。

* 用いた資料は鵜来丸（中央気象台）6月18日（The Results of Marime Meteorological and Oceanographical Observations No. 3）の観測結果。



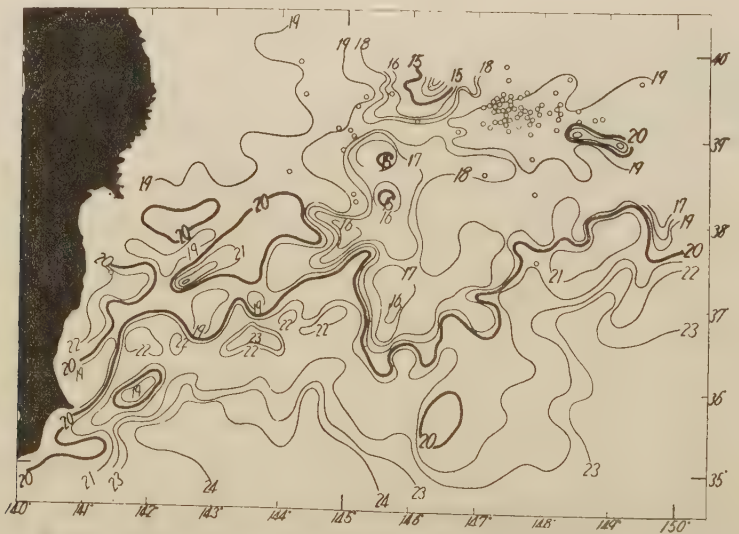
第2図-B　塩素量の断面



第2図-C　σ_t の断面

(II, 1, 2)　6月下旬前半の鮭崎東200～300浬のビンナガ漁場

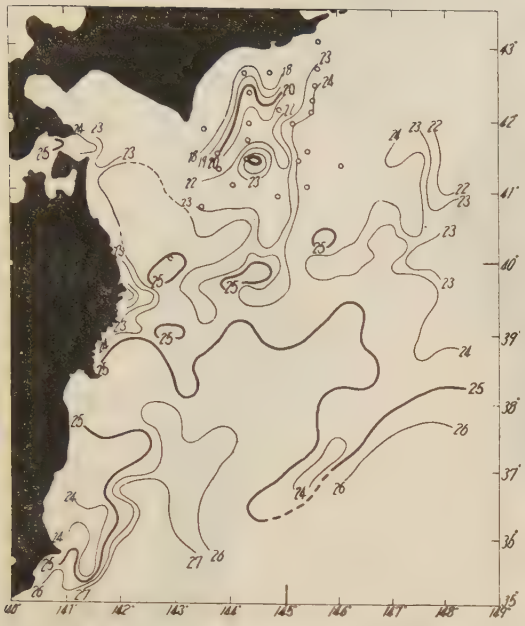
前記の位置の漁場は5日間続いただけで、次の半旬にはずつと東の39°～40°N, 147°～148°Eに漁場が形成されている（第3図）。表面等温線からみられるように、この漁場は親潮の第2分枝と150°E線から入り込む沖合寒流によつて断ち切られた孤立暖水塊の中に形成されて居り、海況条件は前半旬の場合と同様なものと考えられる。



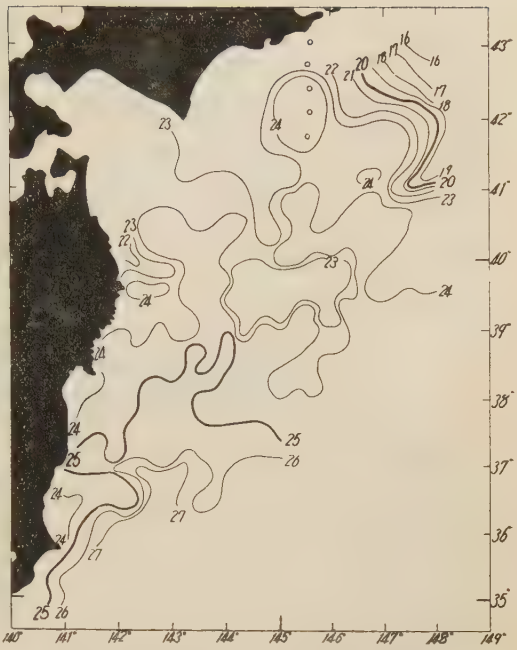
第3図　昭和23年6月下旬前半の表面等温線およびビンナガ漁獲位置

(II, 1, 3)　8月下旬の北海道南東のビンナガ漁場

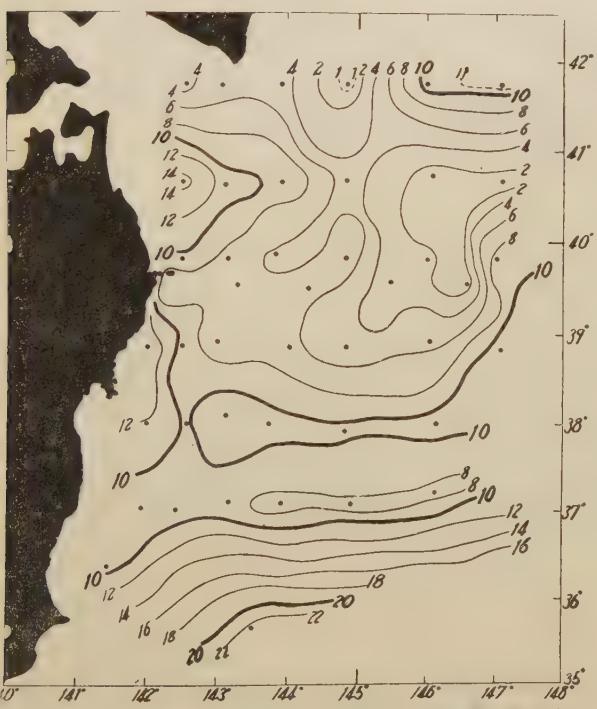
第4図および第5図に示したように、8月下旬には遙か北方の北海道近海に竿釣漁場が出現している。表面等温線から明らかなように、漁場は孤立暖水塊の内部に形成されて居り、漁獲水温



第4図　昭和23年8月下旬前半の表面等温線およびビンナガ漁獲位置



第5図　昭和23年8月下旬後半の表面等温線およびビンナガ漁獲位置



第6図-A　昭和23年7月24日～8月14日 の100m層水温分布

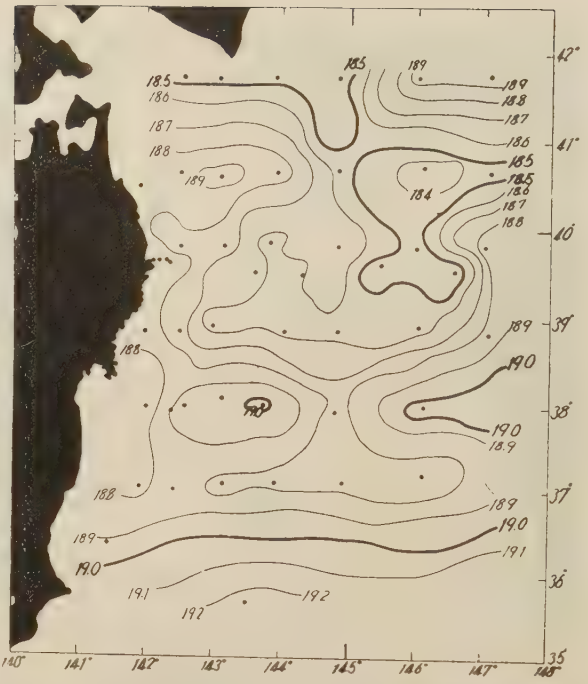
は17°～26°Cで巾が非常に大きい。第6図*に示してあるように、この暖水塊は親潮第1分枝と第2分枝によつて北方に切離されたものであり（川合[3]を参照）、周囲よりも著しく高温・高塩である。暖水塊部の高塩水（中心で19.29‰第12図C）は南側と全くつながりを持たず、40°40′N線の断面では144°E以東は親潮が卓越し、表層は高温低塩な上層水で全く覆われている。更にこの暖水塊で特徴的なことは第12図Cにみられるように、中心部では表面まで塩素量が19.00‰以上であることである。黒潮前線の北側に切離され孤立した暖水塊では、表面下の層(subsurface

* 用いた資料は第5洋丸（海上保安庁水路部）7月14日～8月14日（水路要報増刊号第10）・黒汐丸（宮古測候所）8月8・9日・竹生丸（中央気象台）8月2～12日・凌風丸（同前）8月2～4日（以上は The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 4）の観測結果。

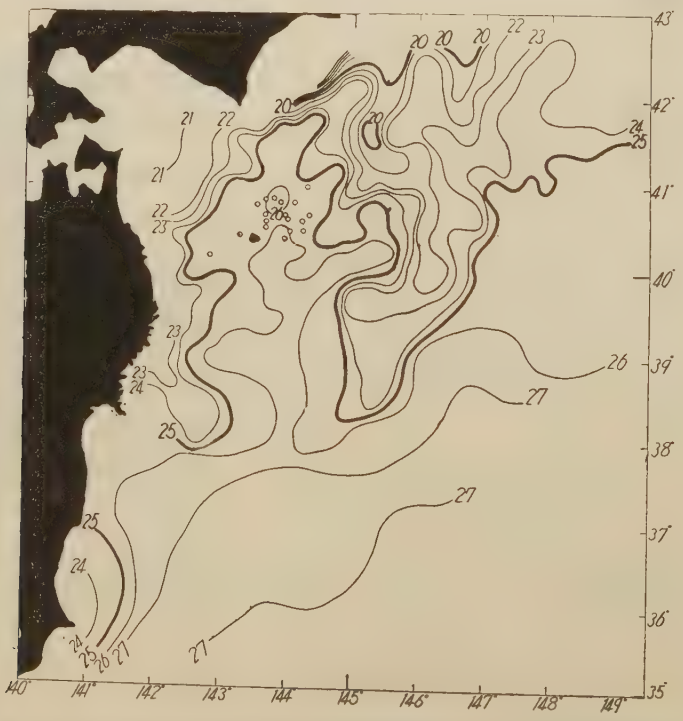
layer）では塩素量が19.00‰以上のことは珍しくないが、表層は夏には通常低塩な上層水で覆われて居り、表面まで高塩であることは滅多にみられないことである。この暖水塊域が、表層に於て鉛直安定度の相対的に小さな水域であることは勿論である。

（II, 2） 昭和25年8月の鮫角沖のビンナガ漁場

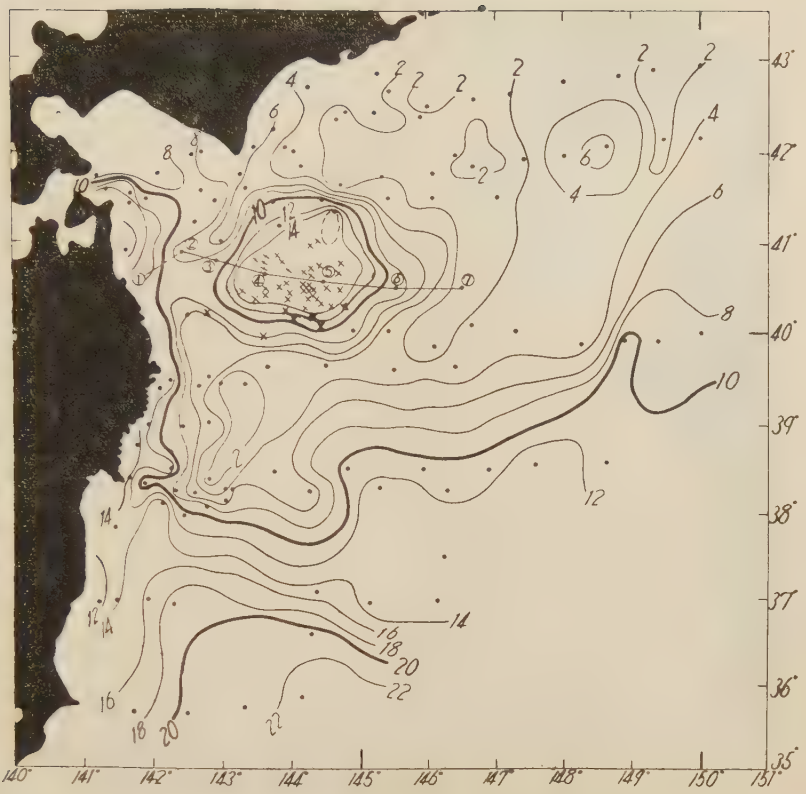
昭和25年の8月始めに鮫角沖にビンナガ漁場が形成され、40日近く続いた。1例として第7図に8月中旬前半の場合を示したが、(II, 1, 1) の場合と同じく暖水塊に漁場が形成されている。漁獲表面水温は非常に高く、25°～27°C



第6図-B 昭和23年7月24日～8月14日の100m層塩素量分布



第7図 昭和25年8月中旬前半の表面等温線およびビンナガ漁獲位置



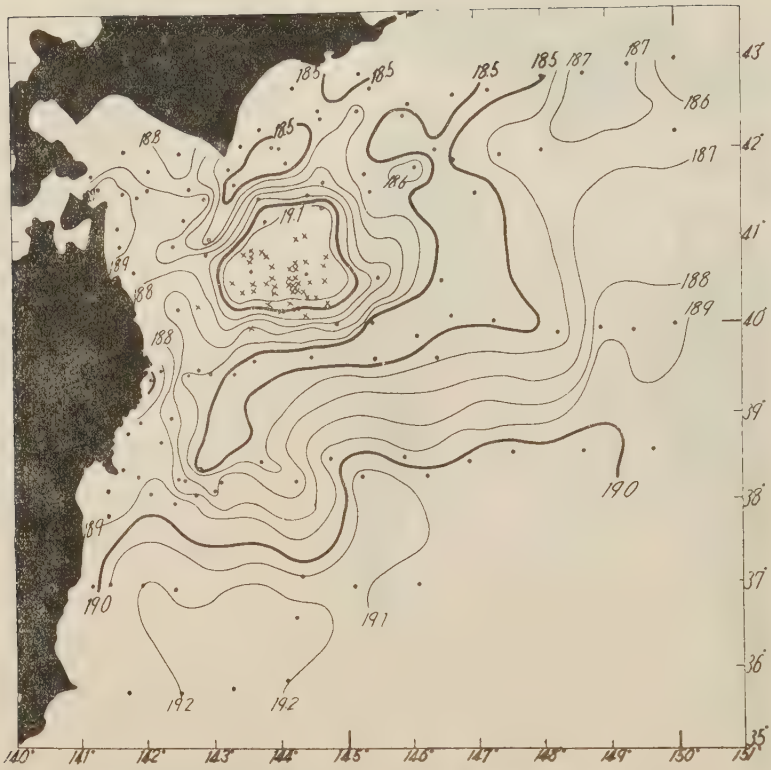
第8図-A　昭和25年8月1～31日の100m層水温分布および8月中旬～9月上旬のビンナガ漁獲位置
鮫角東の線は8月21～23日の第5海洋丸による観測線。

である。8月の100m層の等温線および等塩素量線をみると（第8図）*、庄司[5]および川合[3]が指摘したように親潮第2分枝によつて切り出された完全な孤立暖水塊であつて、100m層では中心部が水温15°C以上、塩素量19.10‰の値を示し、この南側の黒潮水域とは何等の連絡も持つていない。第8図および第9図にはビンナガの漁獲位置を示してあるが、漁場はこの暖水塊の内部に形成されて居る。第9図Bにみられるように、この水塊の塩素量が**表面まで**19.00‰以上であることは昭和23年の場合と同様であり、又第9図Cから、上下の密度差の小さな鉛直安定度の低い水域であることが判る。ビンナガの最低棲息水温である17°Cの等温線は25m以浅であつて、魚群は極く表層を游泳していたと考えられる。

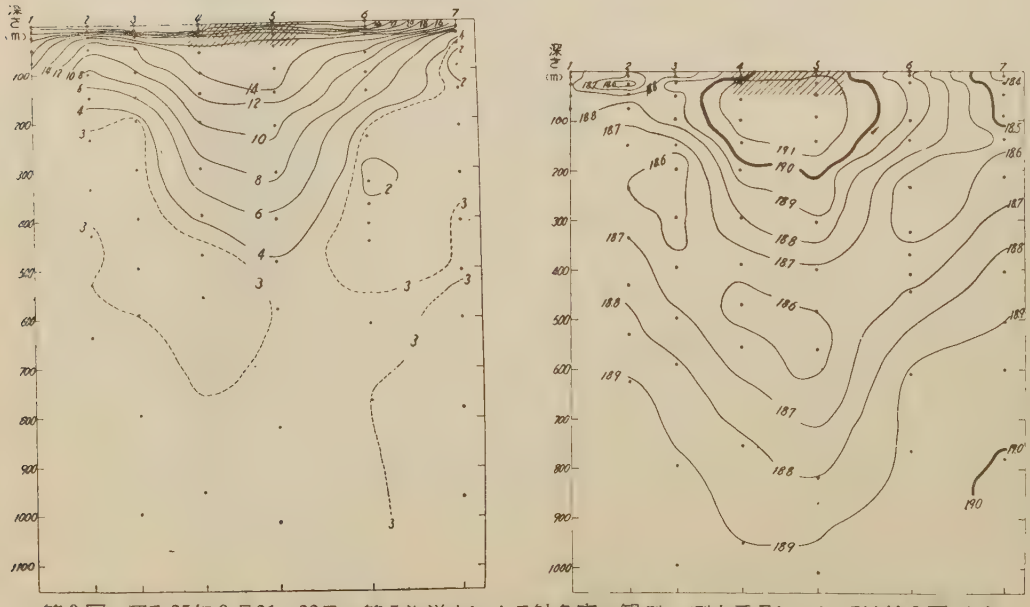
以上両年の場合ともビンナガの体重は平均2.5㎏という小さなもので、筆者[6]が指摘した傾向（北小南大）によく合致している。

---

* 用いた資料は共盛丸（福島水試）1～5日・常盤丸（那珂湊水高）17・18日・ふさ丸（千葉水試）12～16日（以上は海洋観測成果表1950年東北海区水産研究所）・第4海洋丸（海上保安庁水路部）14～22日・第5海洋丸 12～23日・第1海幸丸（同前）20～31日（以上は水路要報増刊号第14）・生名丸（中央気象台）3～13日（The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 8）の観測結果。

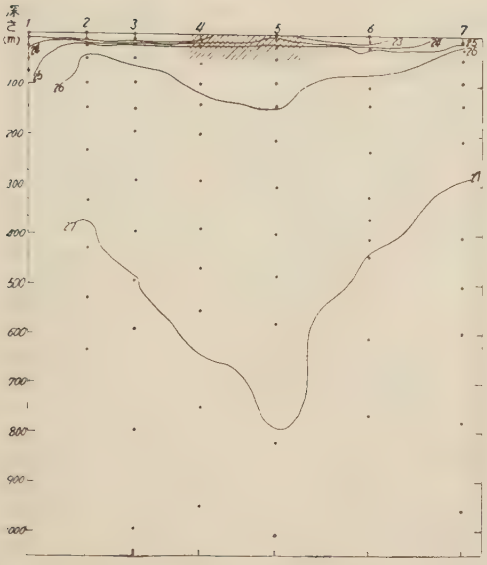


第8図-B　昭和25年8月1～31日の100m層塩素量分布および8月中旬～9月上旬のビンナガ漁獲位置。



第9図　昭和25年8月21～23日の第5海洋丸による鮫角東の観測。測点番号については第8図-Aを参照。斜線を引いた部分は漁場位置である。

A　水温の断面　　B　塩素量の断面



第9図-C　σ_tの断面

【III】以上の総括

以上をとりまとめると、黒潮前線の北側のビンナガ漁場は次の条件の時に形成されるということが出来る。

1. 時計廻りの暖水塊であること
2. 塩素量が高く、表面でも19.00‰以上であること

すなわち黒潮系の水が親潮系の水によつて薄められず、又表層は上層水によつて覆われず、黒潮の諸特徴を高度に維持している場合に漁場が形成されるのである*1。第1報に於て筆者はビンナガが典型的な黒潮系の回游魚であることを指摘したが、この場合でも全く同様にいうことが出来る。又これも第1報で触れたことであるが、ビンナガ竿釣漁場成立の条件としては、水温よりもむしろ塩素量が決定的な要因となることも判る。

23年に於ても25年に於ても、8月に漁獲のある場合には、漁獲水温は24°～27°Cというカツオに匹敵する或いはそれ以上の高温で漁獲がみられているのである*2。

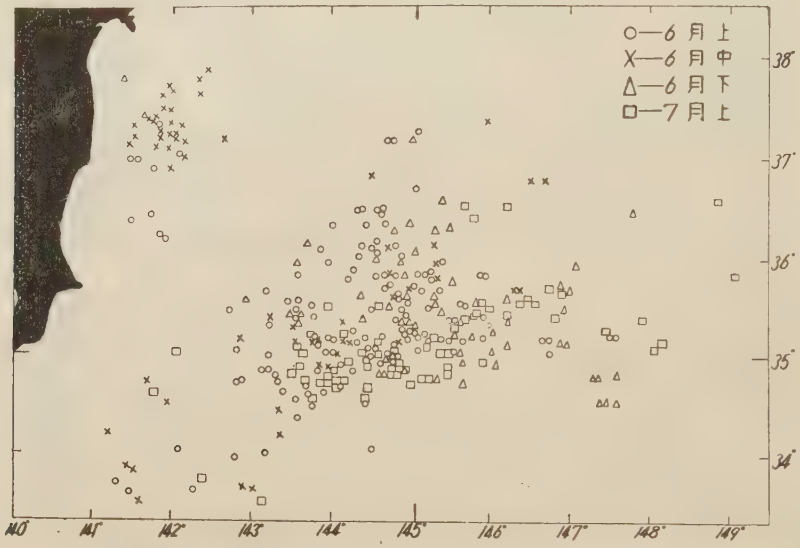
第1表　黒潮前線の南側・150°E以西のビンナガ漁獲水温（°C）のモード

月	5月			6月			7旬
年	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下月	上旬
昭和11年			18 ～ 19	19 ～ 20			
12年							
13年	19 ～ 20	19 ～ 20	20 ～ 21	20 ～ 21	21 ～ 22		
14年				20 ～ 21	20 ～ 21		
15年		20 ～ 21	20 ～ 21	21 ～ 22	21 ～ 22		
22年				22 ～ 23			
23年		資料不十分					
24年					21 ～ 22	21 ～ 22	
25年			20 ～ 21	20 ～ 21	22 ～ 23	23 ～ 24	23 ～ 24
26年			20 ～ 21	21 ～ 22	21 ～ 22	21 ～ 22	
27年			18 ～ 19				
			20 ～ 21	20 ～ 21	20 ～ 21		
28年			19 ～ 20	20 ～ 21			
29年			20 ～ 21	20 ～ 21	20 ～ 21		
30年	20 ～ 21	20 ～ 21	20 ～ 21	20 ～ 21	21 ～ 22		
31年	20 ～ 21	21 ～ 22	21 ～ 22	21 ～ 22			

*1　塩素量は前線の南側の場合よりも低いがこれはビンナガが適応したためである。ビンナガは適応性小さな魚種であり、19.00‰というのはぎりぎりの下限を示している。

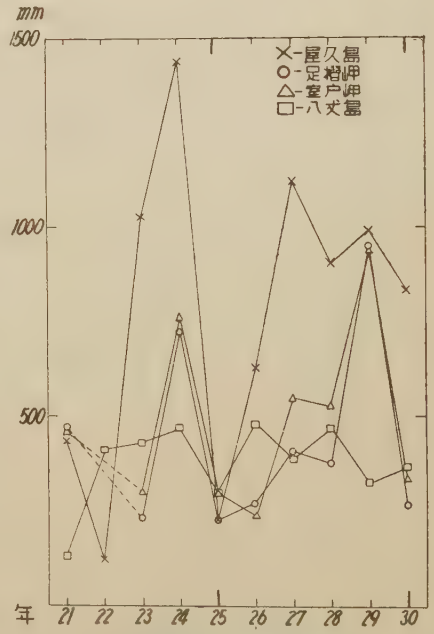
*2　ビンナガマグロはかなりの低温にも適応する。SHOMURA et al6）によれば52°F（11.1°C）の表面水温で曳縄でかなりの漁獲をみている。残念ながら塩素量は不明である。

しかし高温部で漁獲がみられるのは、何も8月に限つたことではない。一般に前線の北側に漁場の形成される年には、6月の前線の南側の漁場で漁獲水温が高目の傾向がある（第1表）。23年の場合には6月上旬以前の資料がほとんど無く検討出来ないが、22年および25年には何れも高温で、特に25年には6月下旬・7月上旬の最多獲水温は23°C台となつている。一般に6月には



第10図　昭和25年6月上旬～7月上旬のビンナガ漁獲位置

表面の塩素量が低くなり又水温が上昇するのであるが(川崎[1])、塩素量の方が決定的な要因であるので、表面塩素量の下降の著しくない年には、水温が上昇しても一ケ所に滞泳すると考えられる。この顕著な例は昭和25年であつて、6月上旬から7月上旬までの40日間、35°30′N, 145°E を中心とする水域から漁場はほとんど動いて居ない(第10図)。これを昭和27年・28年の場合（川崎・相沢[7]）と比較するとこのことは更に明瞭である。6月に於ける表面塩素量の低下は、福岡ら[8]が指摘しているように、主として降水の影響と考えられる。今黒潮の流路に当る屋久島・足摺岬・室戸岬および八丈島の4ケ所について、昭和21年から30年までの6月の降水量をみると、第11図に示したように、昭和25年は低極年となつている。黒潮の平均流速を2.5ノットと考えると、屋久島からでも野島沖までは10



第11図　6月の降水量

日程度で達することになり、25年に漁場が停滞したのは、黒潮の流路の降水量が少かつたために表面塩素量があまり下降しなかつたのが原因の一部であると考えてもよいであろう。

しかしながら、このことは表面水温が高くても漁獲がよいということではなくて、矢張ビンナガの棲息水温に近い低温側でよい漁獲がみられる。三陸沖の漁場でも、19°～20°C 台に漁場の出来る6月が、高温の8月に較べて漁獲がよいのであるし、空前の大漁のあつた昭和27年の漁獲水温が 21°C 以下であり（第1表）、5月下旬には 19°C 以下の水域でも大漁のあつたことでも明らかである。

【IV】 昭和23年および25年の三陸沖の孤立暖水塊について

以上みたように、黒潮前線の北側に出来るビンナガ竿釣漁場は、孤立暖水塊と密接な関係を持つている。従つて、三陸沖の暖水塊の性状を研究することは、ビンナガの漁況予想の観点から大切なことである。22年については観測資料が皆無なのでさて置き、23年と25年についてはかなり詳しく考察することが出来る。この暖水塊については、先に述べたように庄司[5]および川合[3]が指摘しているが、詳細な考察はなされていない。以下にこの暖水塊について考察してみる。

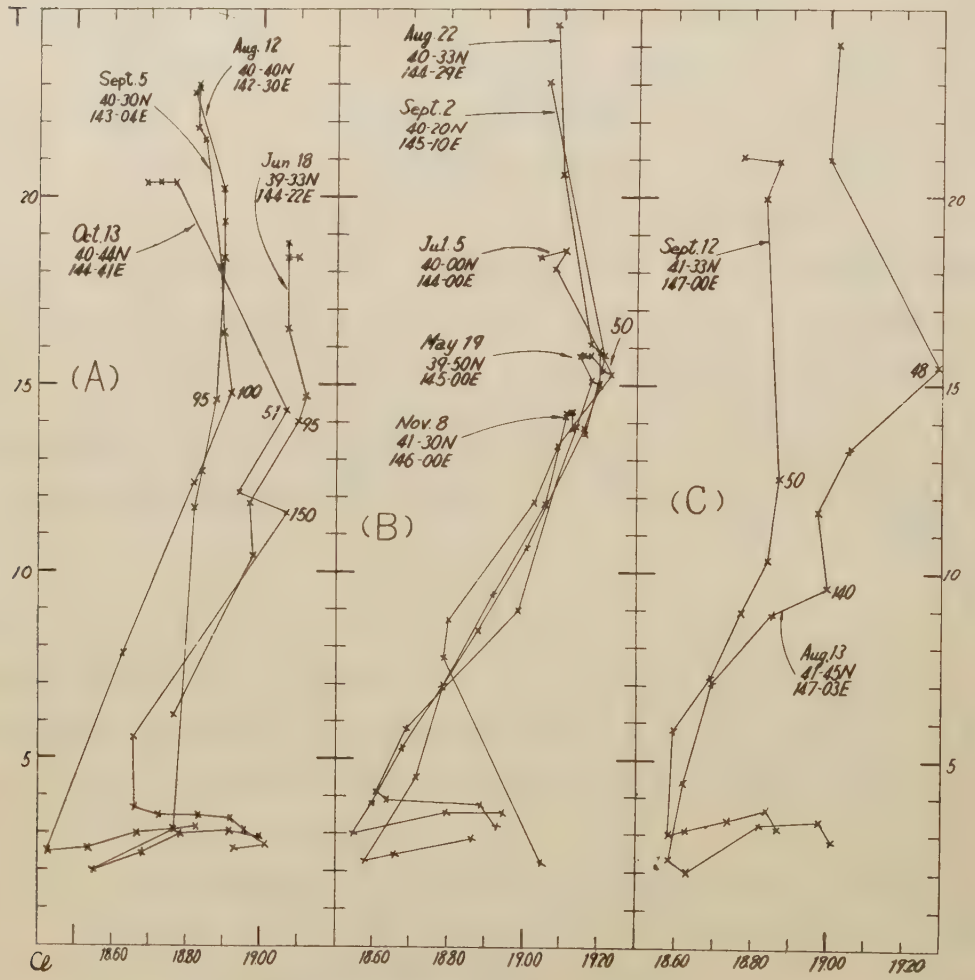
混合水域の暖水塊については、市栄[9]が昭和29年について解析して力学的説明を与え、高気圧性の渦は黒潮が蛇行する際の峯の切離によつて作り出され、この切離は蛇行のトラフに於ける低気圧性の渦の渦度の増大に基くことを示し、更に主流から渦へときどき表層でエネルギーが輸送され渦の寿命を引き伸すこと、渦はその最初の時期には境界で大きな水平安定帯を持つて居り、外側の水塊との混合は比較的少く、水平拡散は渦の内部で effective であること、渦の中央部の水塊は形成の初期の性質を永く維持すること、渦の消滅の主な原因は分裂であること等を明らかにした。

(IV, 1) 昭和23年の暖水塊

よく知られている様に、東北海区では親潮の第1分枝が本土沿いに、第2分枝が 146°～147°E 線沿いに南々西に南下し、黒潮系暖水の第1分派が親潮第1分枝と第2分枝の間を、黒潮第2分派が親潮第2分枝の東側を北上する。黒潮分派の勢力には強い時と弱い時があり、年によつて様々である。

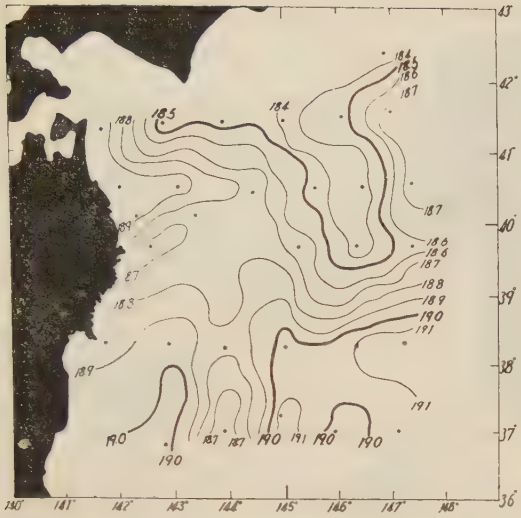
第1図をみると、6月中旬後半には 144° ～ 144°30′E にかけて黒潮第1分派が北上し、146°E 方面から南西に入りこむ親潮第2分枝によつて断ち切られ孤立して居り、中心は 39°30′N, 144° 30′E 附近にあり、19°C 以上の水温を示している。一方親潮第2分枝の東側の 147°E 以東には黒潮第2分派が張り出しているのがみられる。この二つの暖水塊をそれぞれ W_1, W_2 と名付けて置く。第3図では W_1 の模様はあまり変らないが、W_2 は 150°E 方面から入りこむ沖合寒流と親潮第2分枝によつて北方に切り出され、39°15′N, 148°E 附近に中心を持つ孤立水塊となつている。

8月になると、附図2にみるようにW_1は孤立したまま北西へ移動し、親潮第1分枝の南下をせき止めた形となつている。100m層での中心部の水温は6月と変らないが、塩素量は減少している(19.10‰→18.90‰)。第12図Aにみられるように塩素量の最大値は18.92‰であり、T-Cl 関係や等温線・等塩素量線の形からみても、津軽海峡から流入する津軽暖流に連つていると考えられる。一方W_2も北々西に大きく移動し、中心は41°40′N, 147°Eに達している。この場合はW_1の場合と異り、中心部の塩素量は19.29‰, 表面でも19.00‰以上で黒潮系水の特性をよく維持している(第12図C)。(II, 1, 3) で述べたように、当時の資料では完全に孤立しているから、恐らく6月以来断続的に黒潮水域からの補給があつたものと考えるべきであろう。9月には(第13図*

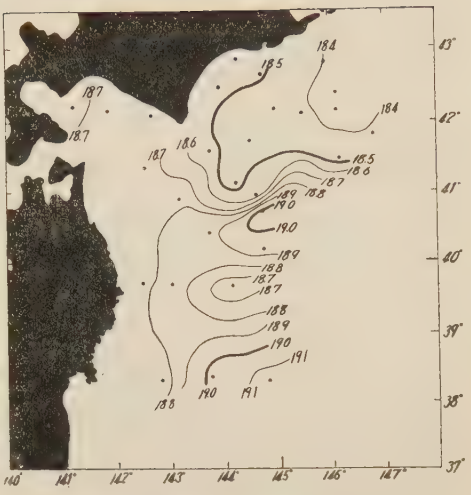


第12図　暖水塊中心部の T-Cl 関係
A…昭和23年のW_1　B…昭和25年のW_1　C…昭和23年のW_2

* 用いた資料は夕汐丸(函館海洋気象台) 8月31日～9月13日・黒汐丸8月31日・鵜来丸8月25～27日・凌風丸9月11～13日 (The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 4) の観測結果。

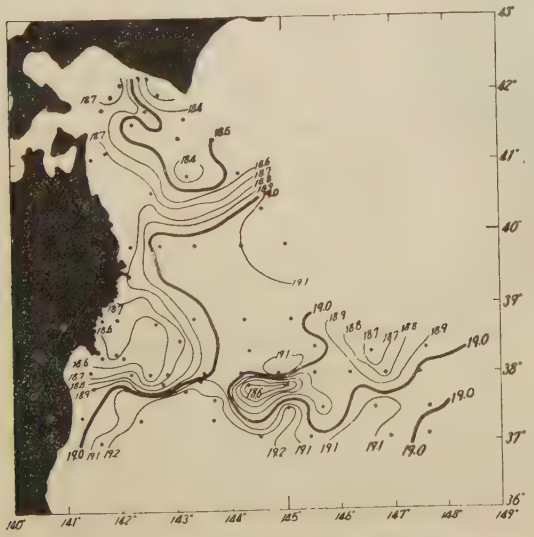


第13図　昭和23年 8 月25日～ 9 月13日
の 100m層塩素量分布



第14図　昭和23年10月 3 ～28日の
100m層塩素量分布

および第12図) W_1は位置も性状も変らないが、W_2は等量線の模様からみて明らかに東へ移動している。10月になると(第14図[*1]) W_1は東へ移動して 40°45′N, 144°40′E 附近に達している。中心の塩素量は第 8 図にみるように著しく増加し、19.07‰となつているが、表層ではずつと低下している。 W_1の南側の断面をみると、143°E を中心として 75m 層に $Cl_{max.}$ (18.89‰) を持つ高塩部があり、表層は低塩な上層水に覆われている。この時期には W_1の方が高塩であるが、W_1は39° 40′N, 143°E から東北東に入りこむ高温高塩水を通じて黒潮水域と表面下に於て連つているものと考えられる。第14図からみられるように、津軽暖流との連絡は親潮第 1 分枝によつて断ち切られている。一方 W_2 は147°E 以東に去つて消滅したものと考えられる。



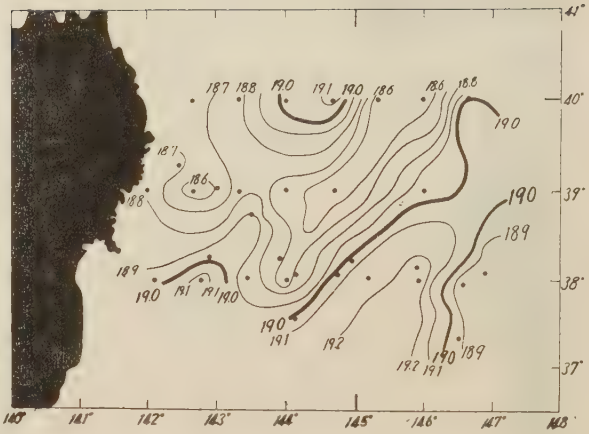
第15図　昭和25年 5月 4～26日の100m層塩素量分布

(IV, 2)　昭和25年の暖水塊

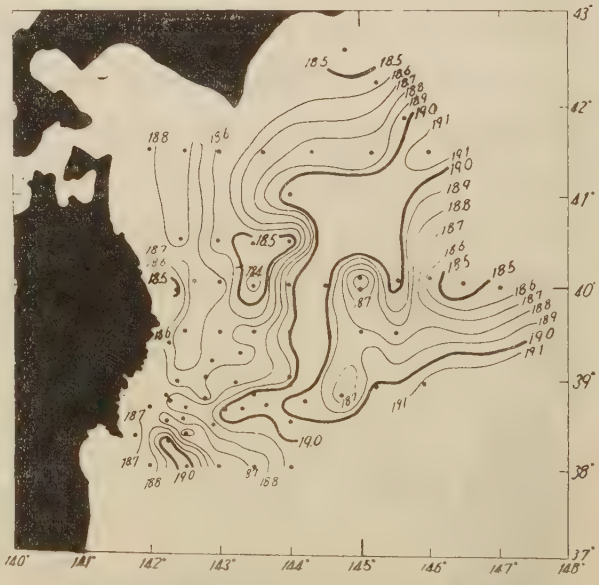
5 月には川合[3] が指摘しているように、38°N, 144°E から細いくびれを以て前線を破り大きな W_1 が北方に突出している（第15図[*2])。W_1の中心部は 39°50′N,145°E にあり、100m層で 水温 15°C 以上塩素量 19.10% 以上である。 中心部を切る東西の断面とその南側の

*1　用いた資料は夕汐丸 8 ～11日、新南丸（中央気象台)26～28日（以上は The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 4)・第 4 海洋丸 3 ～20日（水路要報増刊号第10）の観測結果。

38°45′N 線および黒潮前線に沿う 37。50′N 線の断面を比較すると、19.10‰以上の高塩水が 100m 以浅の表層でつながつて居り、39°50′N に至つて 200 m 層まで沈んでいるのが判る。7月になると（第16図*3）W_1 の中心は 40°N, 144°E に西へ移動し、又第2分枝の勢力が増大して孤立化し、$Cl_{max.}$ は 100m 層に下つている。第16図には 143°20′E を中心とする細い高温高塩水の入り込みがみられ、その中心は表層下にあり、W_1 はこのくびれを通じて断続的に補給されているものと思われる。8月（第8図）には、(II, 2)で述べたように全く孤立して居り、南側の連絡路も指摘出来ない。中心の位置は 40°30′N, 144°30′E とわずかに北東へ移動している。尚この時期には 42°N, 148°30′E に小さな W_2(恐らく消滅寸前）が存在している。



第16図　昭和25年6月25日～7月9日の100m層塩素量分布



第17図　昭和25年11月3～25日の100m層塩素量分布

9月には W_1 は更にわずかに東へ進み 40°20′N,145°10′E に達している（第12図B*4）。中心部の塩素量は 19.21‰以上で、断続的に補給が続いていることは明らかである。11月にはずつと北北東に進み中心は 41°30′N, 146°E に達しているが、前線の南側の黒潮水域とは細い道を通つて明らかに連絡している（第17図*5）。W_1 の中心は表面に浮び上つているが、その南側の東西断面では 40°N 線では 144°～144°30′E で 100～150m に、39°30′N 線では 144°E を

*2　用いた資料は第4海洋丸4～25日（水路要報増刊号第14）・共盛丸19～25日・岩手丸（岩手水試）22～29日（以上は海洋観測成果表 1950年 東北海区水産研究所）・生名丸5～8日・新南丸24～26日（以上は The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 7）の観測結果。

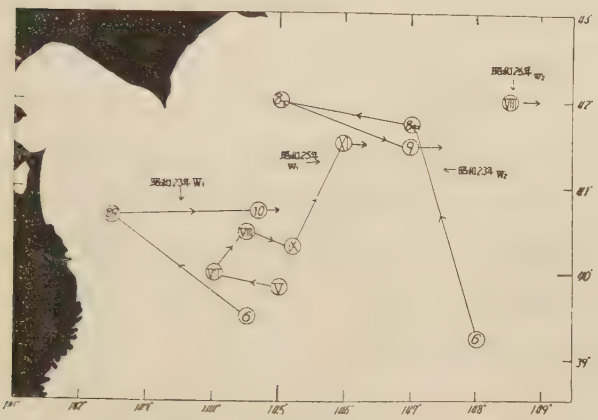
*3　用いた資料は共盛丸7月1～9日・岩手丸6月25日～7月4日（以上は海洋観測成果表 1950年 東北海区水産研究所）・夕汐丸7月1・2日・凌風丸6月28日～7月1日（以上は The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 8）の観測結果。

*4　資料は第1京丸（日本水産）9月2日（海洋観測成果表 1950年 東北海区水産研究所）の観測結果。

中心にして75～150mに $Cl_{max.}$ があり、明らかに表面下を通じて連絡している。W_1 はその後東へ漂流しながら消滅したものと思われる。

【V】 総　　括

以上昭和23年および25年の三陸沖の暖水塊について詳細にみたが、これを総括的にみるために中心部の位置の移動を記入した第18図を掲げる。この図からいえることは、W_1 も W_2 もこの両年には大きな時計廻りの移動をしているということである。即ち春先に40°N線の南に形成された暖水塊が、夏には岸寄りに移動し、秋になるにつれて次第に東へ流れて行くのである。



第18図　昭和23年および昭和25年の暖水塊の位置の移動

更に第12図によつて暖水塊の性状の変動を検討すると、23年の W_1 に於ては6月には100m層以深まで19.00‰以上で高塩であるが、8月・9月には津軽暖流と連絡して塩素量は下るが表面まで一様となり、10月になると津軽暖流から離れて再び黒潮と連絡するため表面下では高塩となるが、表面は親潮に覆われて低塩となつている。

一方25年に於ては、W_1 は塩素量の変動が小さく5月から11月まで $Cl_{max.}$ は19.10‰以上であり、T–Cl diagram の形はよく似ている。すなわち、この場合には黒潮水域からひんぱんに補給を受けていたと考えられ、暖水塊の規模としては23年の場合よりも大きかつたと思われる。次に23年の W_2 を検討すると、8月には中心（50m層）の塩素量が19.29‰であり、表面も19.00‰以上で強勢であつたが、1ヶ月後には弱まつているのがみられる。

一般にこの暖水塊は、先ず表層に於て春先に黒潮分派が前線の北側に張り出して形成され、その後は黒潮水域と表面下に於て切れたり続いたりしながら連絡しているものであり、少くとも晩秋までは維持されているものであろう。

以上の暖水塊の性状の変動をビンナガの漁場と関連させて考えてみる。III に於てビンナガの漁場成立の条件として表面塩素量が19.00‰以上でなければならないことを指摘したが、このことは暖水塊の性状の変動と結びつけて考えるとよくあてはまるのである（第12図）。すなわち、23年の W_1 に於ては6月にこの条件を満足した時に漁場が形成され、それ以後は形成されていない。25年の W_1 に於ては5月には塩素量の条件は満足されているが、水温の条件が満足されていない

*5　用いた資料は蒼鷹丸（水産庁）9～17日，20～24日（海洋観測成果表 1950年 東北海区水産研究所）・夕汐丸3～25日・鵜来丸 10～12日（以上は The Nesults of Marine Meteorological and Oceanographical Observations No. 8）測観結果。

ので（表面でも15°C以下）漁場は成立していない。7月には明らかに両方の条件が満足されているが、漁場は成立して居ない。これについては現在のところ説明不可能であるが、或いは漁船がこの方面に出動していなかつたためかも知れないし、又はビンナガの漁場成立に不適当な条件があつたためかも知れない。8月・9月には両方の条件が満足されているため漁場は成立して居り、11月には水温条件が満足されていないために漁場は出来ていない。

23年の W_2 については、8月には両方の条件が満足されているため漁場が成立し、9月には塩素量条件が満足されて居らず、漁場は成立していないのである。

すなわち、黒潮前線の北側に於ては、表層の水温17°C以上、表面の塩素量19.00‰以上（表面下ではそれ以上）という二つがビンナガの漁場成立の条件であることが判る。東北海区の暖水塊は春から秋にかけて位置と性状を変化させながらも持続する傾向があるので、大きな塩素量を持つ暖水塊が形成された場合には、その後水温が上昇し又表面が低塩な上層水によつて覆われないならば、ビンナガ漁場が成立する可能性がある。例えば昭和25年の5月には、将来のビンナガ漁場成立の可能性を示唆出来るわけである。将来海況予想の精度が増大するにつれて、ビンナガの漁況予報も現実的なものとなつて来るであろう。

終りに当り御指導をいただいた本所長木村博士に厚く感謝する。

【VI】要　　約

昭和22・23年および25年には黒潮前線の北側に竿釣りビンナガ漁場が形成された。当時の資料を解析して前線の北側の漁場成立条件を検討した。漁場成立の条件としては

1. 時計廻りの渦流を伴う孤立暖水塊であること
2. 塩素量が表面でも19.00‰以上であること
3. 表層の水温は17°C以上であること

があげられる。

更に昭和23年と25年の暖水塊の性状について考察した。

1. 昭和23年および25年には暖水塊は大きな時計廻りの移動をしているようである。
2. 暖水塊は春先に黒潮前線の蛇行によつて作り出され、最初は表面でも黒潮水域と連絡しているが、その後は黒潮水域と表面下に於て切れたりつながつたりしながら連絡し、晩秋まで維持されている。
3. 昭和25年の暖水塊は規模としては23年のそれより大きく、又性状もほとんど変化していない。23年にはかなりの変動がみられる。

ビンナガ漁場はこれらの暖水塊の表層水温が17°C以上で、表面塩素量が19.00‰以上の時にのみ形成されている。

【VII】 文　　献

1) 川崎　健：東北水研報告，**9**, 69～109, (1957)
2) 南日俊夫：Pap. in Met. & Geophys. **2**, 102～116, (1951)
3) 川合英夫：東北水研報告，**4**, 1～46, (1955)
4) 木村喜之助（1949）カツオ漁場図集，東京；黒潮書房
5) 庄司大太郎：水路要報，**25**, 230～244, (1951)
6) Shomura R.S. et al : Spec. Sci. Rept. : Fish. **173**, 1～29 (1956)
7) 川崎　健・相沢幸雄：東北水研報告，**6**, 81～92, (1956)
8) Fukuoka J. et al : Ocean. Mag. **6** (1), 15～24, (1954)
9) Ichiye T. : Ocean. Mag. **7** (2), (1956)

〔追　記〕

筆者は本文の中で、昭和22年には海洋観測の資料が無く、海洋条件の検討が出来ないと述べたが、その後蒼鷹丸（農林省水産試験場）による7月1日～19日の 146°30′E 以西，35°30′N～43°N の観測資料（未発表）を入手することが出来た。この年には、三陸沖に6月中旬～7月上旬の1月間ビンナガ漁場が形成されている（木村[4]　を参照）。海況条件と漁獲位置との対応関係を検討した結果、本文に於て筆者が指摘したすべての条件が、この場合に於ても満足されていることを確めることが出来た。

東北水研　研究報告
第10号
Nov. 1957

ババガレイの生物学的研究※

第1報　卵巣の成熟について

笠　原　康　平

BIOLOGICAL STUDIES OF *MICROSTOMUS ACHNE* (JORDAN ET STARKS)

I. ON THE GROWTH OF THE OVARIAN EGG

By
Kohei KASAHARA

From the morphological observations on the growth of the ovarian egg in the flatfish, *Microstomus achne* (JORDAN et STARKS), caught by the bottom seine on the continental shelf in the north-eastern sea area of Japan, the following results have been obtained:

1) The weight of the ovary staying immature is constant throughout the year, but when it begins to develop, it gradually increases in weight from September to March or April at the same rate in every fish with different body length and attains the maximum weight from March to April, thereafter the weight decreases suddenly until it reaches the condition where the ovary remains immature.

2) The ovarian eggs in the course of maturation are divided into two group, one contains eggs below 0.2 mm in diameter and the other of 0.4 mm or more in diameter. The smaller egg shows no change in size all the year round, but the larger gradually enlarges its diameter and at the beginning of March it attains a size of about 0.8 mm in diameter, but yet looks opaque, and finally during March it grows rapidly up to the semitransparent egg of 1.7 mm in diameter in average. After the occurrence of the large semitransparent egg in the ovary, the ovary develops in the form of percentage increase of this egg out of the opaque eggs without numerical change.

3) The specific gravity of the ovarian egg in the growth stage becomes lower accompanying with the enlargement of the egg diameter.

4) The total weight of the oogonia measured below 0.2 mm in diameter and the other tissues except the growing egg cell (oocyte) in the developing ovary is approximately exual to the weight of the ovary remaining in the immature condition, in the fish of the same body length.

※ 東北海区水産研究所業績　第104号

5) As the number of grown-up ovarian eggs (oocyte) does not increase or decrease during the period from September to February, accordingly the increase of the ovarian weight during this period is due to the enlargement of egg diameter, although the specific gravity of the egg gradually lowers in the meantime.

6) Under consideration of the enlargement of the egg diameter, the constancy in number of growing eggs, and the change of ovarian weight, the fish seems to begin delivering eggs when the percentage of mature, semitransparent eggs increases in the ovary to a certain extent, without waiting the completion of developmental changes that the enlarged, immature, opaque egg becomes further larger and semitransparent in all. Therefore the spawning is not finished at a time and probably continues for a longer period from the end of March to the end of April.

東北海区北部の底曳船にとつて重要な漁獲物の1つであるババガレイ *Microstomus achne* (JORDAN et STARKS) の卵巣の成熟過程を主として形態学的に追求し、2, 3 の知見を得たので報告する。

材料と方法

1951年10月から'56年3月までの間にわたつて、北海道太平洋岸と八戸沖の底曳船の漁獲物の中から資料魚を採集し、先ず卵巣を摘出してその重量を測定し、更にその成熟の度合（之を成熟度と呼ぶことにする）を肉眼的観察に基いて A, B, C の3段階に区分した。即ちAは卵巣内に卵粒を認めないが認めても極めて小さいもの、Bは明らかに卵粒を認めるもの、Cは既に産卵が終つて卵巣内が空洞状を呈するものである。尚成熟度Aの個体群を未成熟群、成熟度Bの個体群を成熟群と呼ぶことにする。

又成熟度Bの卵巣の一部から一定数（約300粒）の卵粒を標本抽出して生鮮状態のまゝでその卵径を測定した。卵粒は必らずしも真円でなく楕円形のものもかなり見られるので、測定に当つてはその長径と短径を測つて両者の平均値を求め、之を卵径とした。

次にそれぞれの成熟過程にある卵細胞の一部（但し透明卵と不透明卵の混合状態になつているものを除く）を採つてその重量を測定し、更に一定量の水を入れたメスシリンダーの中に投入してその際の水位の上昇から容積を求め、之等の値からその卵巣卵の比重を算出した。

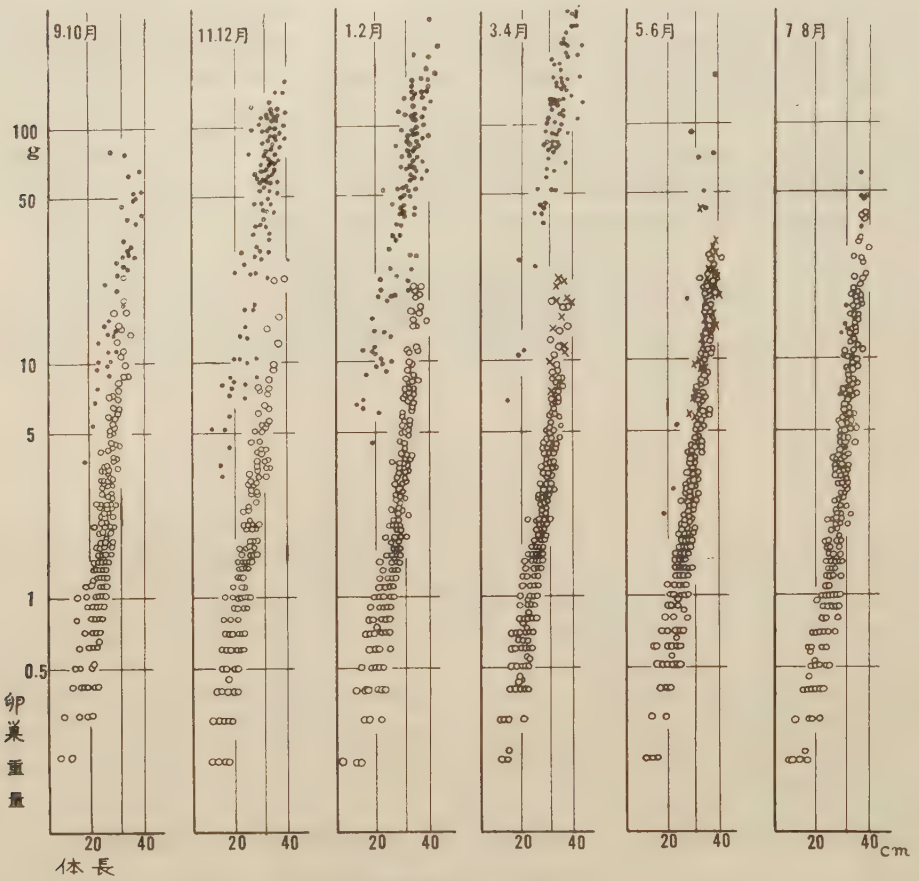
又9月から2月までの各個体の卵巣についてその抱卵数を重量法で算定した。

結果と考察

1. 卵巣重量の時期的変化

先ず未成熟群について見ると、その卵巣重量と体長との対数間の関係はどの時期のものもほゞ直線状に連なつているので(第1図)、卵巣重量を W (単位はg), 体長を L (単位はmm) とすれ

ば両者の対数の相関分析（第1表、1例として11月・12月及び5月・6月分を掲げる）によつて $W = kL^n$ の関係が成り立つことが確められる。そこで定数 k, n 及び95%の信頼区間を求めると、之等の値は共に時期による変動が殆んど認められない(第2表)。即ち卵巣重量と体長との関



第1図　卵巣重量と体長との関係
○… 成熟度A，　●… 成熟度B，　×… 成熟度C

第1表　未成熟群の $\log L$. $\log W$ 間の相関分析表

11月，12月

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	14.8732	1	14.8732	436.17
残差	2.7921	82	0.0341	
全体	17.6653	83		

5月，6月

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	13.1887	1	13.1887	428.22
残差	2.5574	83	0.0308	
全体	15.7461	84		

第2表　$W=kL^n$ における k, n の値及び95%信頼区間

時期	k		n	
	値	95%信頼区間	値	95%信頼区間
	$\times 10^{-12}$	$\times 10^{-12}$		
9月，10月	2.878	1.147～4.609	4.975	4.601～5.349
11月，12月	2.904	1.483～4.325	4.990	4.480～5.500
1月，2月	3.023	1.111～4.935	4.938	4.558～5.218
3月，4月	2.954	1.378～4.530	4.963	4.435～5.496
5月，6月	3.069	1.137～5.000	4.957	4.551～5.363
7月，8月	2.816	1.071～4.561	5.002	4.605～5.399

係は周年概ね一定と見てよく、従つて未成熟群の卵巣重量には時期的変動が殆んど見られないことになる成熟群は7月・8月頃から出現しているが、この時期の卵巣重量と体長との関係を示す点は未だ未成熟群の直線上にほゞ重なつた形となつていて、重量の上からは未成熟群と余り相違が見られない。しかし9月・10月頃になると之等の点は何れも未成熟群の上方に位置する様になり、時期が進むに従つて未成熟群との間隔は次第に増大する。そして3月・4月を頂点として以後は何れも成熟度Cの状態になり再び未成熟群の線上に重なつて来る(第1図)。この成熟群も卵巣重量と体長との対数間の関係がほゞ直線状に連なつているので、この卵巣重量を W' とすると W' と L との間に未成熟群の場合と同様の関係式が成り立つことが確められる(第3表、1例として11月・12月及び3月・4月分を掲げる)。そこでこの式を $W'=k'L^{n'}$ として定数 k', n' の値を求めると、方向を示す係数 n' の値はどの時期にあつてもほゞ一定と見られるが、位置を示す係数 k' の値は9月以降次第に増加する傾向が認められる(第4表)。即ち成熟群にあつてはその卵巣重量は9月以降どの体長のものもほゞ一定の率で次第に増大することになる。

第3表　成熟群の $\log L$, $\log W$ 間の相関分析表

11月, 12月

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	13.5905	1	13.5905	87.97
残差	12.9755	84	0.1545	
全体	26.5660	85		

3月, 4月

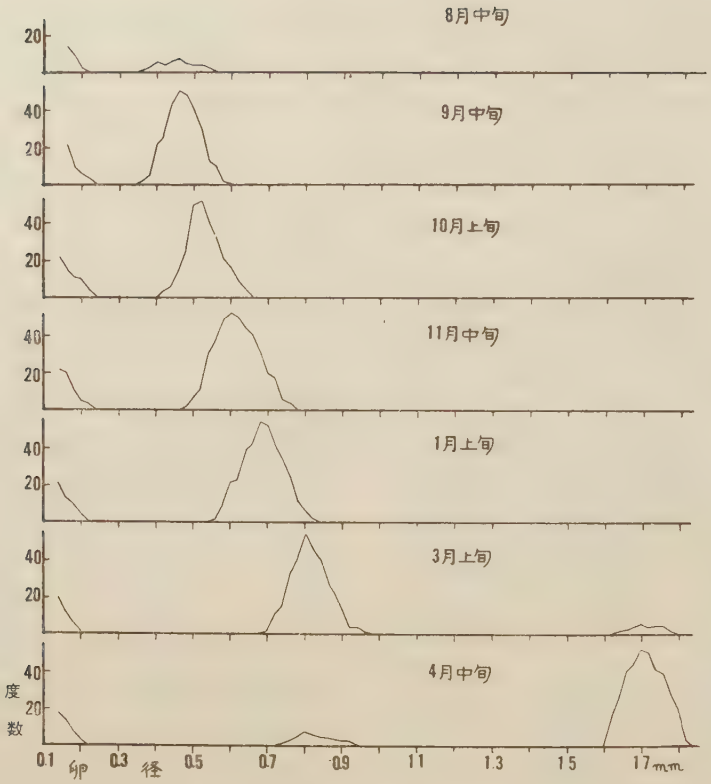
要因	変動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	6.0753	1	6.0753	493.83
残差	1.0211	83	0.0123	
全体	7.0964	84		

第4表　$W'=k'L^{n'}$ における k', n' の値

時期	k'	n'
9月, 10月	1.774×10^{-8}	3.632
11月, 12月	3.467 〃	3.618
1月, 2月	5.188 〃	3.611
3月, 4月	10.340 〃	3.627

2. 卵径の時期的変化

卵巣卵(成熟度B)の卵径の時期別度数分布を見ると、8月・9月は卵径が 0.2mm 以下のものと 0.4mm 前後のものとの2つの集団が認められる(第2図)。0.2mm 以下のものは未だ成熟過程に入らない増殖期の卵原細胞、0.4mm 前後のものは既に成長・成熟過程に入つた卵原細胞と見られるが、組織学的に卵子形成過程を未だ確認していないのでこゝでは両者を区別するために仮に前者を卵原細胞、後者を卵細胞と呼ぶことにする。卵原細胞はこの期間を通してその大きさが殆んど変化せず恐らく周年このまゝの状態にあるものと思われるが、卵細胞の方はその数と大きさが時期によつて大きく変化している。即ち8月中旬頃には卵巣内の一部に点々と散在する程度で極めて僅かしか見当らなかつた卵細胞がその後急激に増加して9月中旬頃は卵巣内の大部分を占める様になり、更に10月以降になるとその卵径が次第に増大して3月上旬には 0.8mm 前後に達する。この間の卵細胞の卵径について卵巣内の部位による相違の有無を検討するために、卵巣を前・中・後部の3部位に分けた上更にこの各々の部位を周辺部と中心部に分けて合計6ブロックとし、それぞれのブロックの卵径平均値について要因分析を行つた所、どのブロックにおいて



第2図　卵径度数分布の時期的変化

もその卵径に有意な差（危険率1％）を見出し得なかつた(第5表)。又同一時期における個体間の相違の有無を確めるため、体長の異なる数個体の卵巣から抽出した卵細胞の卵径を測定し、各個体間の卵径平均値の差を検定した結果でもやはり有意な差（危険率5％）を認め得なかつた(第6表)。従つて第2図はこの間の卵径の時期的変化を代表しているものと見て差支えない。

第5表　卵巣各部位における卵径平均値の要因分析

要　因	平方和	自由度	不偏分散
群間(前・中・後部)	17	2	8.5
群内(周辺・中心部)	4	1	4.0
交　互　作　用	34	2	17.0
総　計	55	5	

第6表　体長を異にする各個体の卵径平均値
R…卵径平均値　*V*…不偏分散（測定数は300粒）

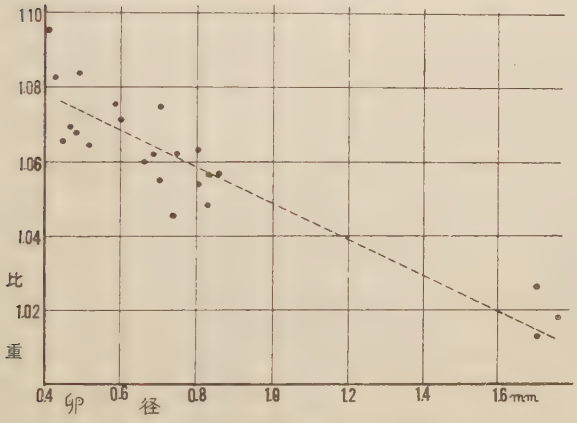
調査時期　10月上旬			2月下旬		
体長	*R*	*V*	体長	*R*	*V*
mm	mm		mm	mm	
251	0.523	0.0092	266	0.761	0.0101
274	0.516	0.0103	318	0.758	0.0087
314	0.508	0.0083	325	0.770	0.0096
338	0.517	0.0112	340	0.762	0.0098
361	0.520	0.0098	352	0.756	0.0112

卵巣の成熟が更に進むと卵巣卵の一部に所謂水仔と呼ばれる透明卵が出現して来るが、この出現の時期は個体によりまちまちで早いもので3月上旬、遅いもので3月中旬頃である。この透明卵の卵径は1.7mm前後に達し今迄の不透明卵とはその大きさにおいて甚しく相違するが、その中間的な卵径のものが殆んど見当らない所

から見て個々の卵細胞が不透明卵から透明卵へ移り変る期間は極めて短かいのではないかと想像される。この透明卵の出現を境として、卵巣の成熟過程が今迄と違つて透明卵の卵細胞中に占める割合の増加という形で進んで行く様である。即ち3月中旬頃は1～5%に過ぎなかつた透明卵の割合が下旬には10～30%、更に4月中旬には卵細胞の殆んど全部が透明卵に変る。しかしこの過程にあつても透明卵の卵径は出現当初の1.7mm前後から殆んど変化しないので、形態的にはこの透明卵を卵細胞の成長過程における最後の段階と見做してよい。

3. 卵細胞の比重

卵細胞の卵径（この場合は平均値を用いた）に対する比重の関係を見ると、その分散はかなり大きいが概ね卵径の増大に伴つて比重は次第に低下する傾向が認められる(第3図)。そこで卵径



第3図　卵細胞の卵径と比重の関係

第7表　$R \cdot S$ 間の相関分析表

要　因	変　動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	9534	1	9534	119.18
残　差	1670	21	80	
全　体	11204	22		

を R（単位はmm)、比重を S とすると $S=a+bR$ が成り立つことになり(第7表)。a, b の値を最小自乗法で求めると次式が得られる。

$$S=1.095-0.047R \quad \cdots\cdots(1)$$

4. 卵径と卵細胞重量の関係

卵巣内の卵細胞が完全な球体であると仮定すると、卵径 R の卵細胞1箇の重量 W_R（単位はg）は次式で示される。

$$W_R=\pi/6\,(R/10)^3\,S \quad \cdots\cdots(2)$$

（1）式と（2）式から卵細胞重量とその卵径との関係式を導くことが出来る。こゝでは資料取扱いの便宜上卵細胞1000個の重量を求めることとすると

$$1000\,W_R=0.524R^3\,(1.095-0.047\,R)$$

故に

$$1000\,WR/R^3=0.574-0.0247\,R \quad \cdots\cdots(3)$$

即ち $1000\,WR/R^3=f$ とおくと f は R の1次式で示される。一方実測値から求めた f の値（算出に当つては透明卵と不透明卵が混合状態になつているものを除いた。又この場合の R は卵径平均値を用いた）と R の間には $f=c+dR$ が成り立つことになり(第8表)、この定数 c, d の95%の信頼区間内に（3）式の定数が入ることが確められる(第9表)。即ち理論的に求めた卵細

胞重量と卵径との関係式が実測値にも適合し得ることを示している。

第8表　$R \cdot f$ 間の相関分析表

要　因	変　動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	3064	1	3064	8.78
残　差	7331	21	349	
全　体	10395	22		

第9表　$f = c + dR$ における c, d の値

	値	95%信頼区間
c	0.579	0.573 ～ 0.585
d	−0.0267	−0.0192～−0.0342

5. 抱卵数と体長との関係

或る個体の卵巣内における卵細胞数即ち抱卵数を N、卵細胞の全重量を W_R'（卵径平均値 R）とすると

$$N = W_R' / W_R \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

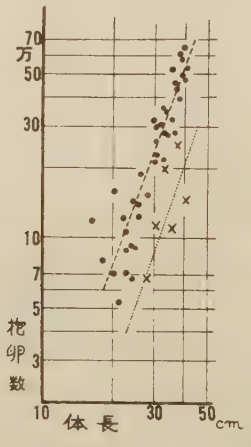
一方重量法で算定した抱卵数と体長との対数間の関係を見るとその傾向は概ね直線状となつている(第4図)。即ち N と L との間に $N = pL^q$ の関係式が成り立つと見られるので(第10表)、定

第10表　$\log N_m \cdot \log L$ 間の相関分析表

要　因	変　動	自由度	不偏分散	分散比
1次回帰	1.5342	1	1.5342	273.96
残　差	0.1521	27	0.0056	
全　体	1.6863	28		

第11表　$N = pL^q$ における p, q の値

	値	95% 信 頼 区 間
p	8.572×10^{-3}	$5.542 \times 10^{-3} \sim 11.602 \times 10^{-3}$
q	3.002	2.889～3.115



第4図　抱卵数と体長との関係
●… 不透明卵のみの卵巣の抱卵数
×… 透明卵約30%を含む卵巣の抱卵数

数 p, q 及びそれ等の95%の信頼区間を求めると第11表の通りとなる。尚個々の卵巣における卵細胞の全重量 W_R' は（4）式から

$$W_R' = W_R N = W_R p L^q$$

又この卵巣における卵原細胞と卵巣膜その他の組織の重量を W'' とすると、この値は卵巣重量と卵細胞の全重量との差であるから

$$W'' = W' - W_R' = k' L^{n'} - W_R p L^q \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

k', n' 及び W_R は先に述べた通りそれぞれの時期において一定と見られるので W'' は L の函数で表わされる。そこで（5）式に9月・10月，11月・12月，1月・2月の k', n' 及び W_R の値を代入して W'' の値を求め、$W'' = uL^v$（u, v は定数）とおいてそれぞれの時期における u,

第12表　$W'' = uL^v$ における u, v の値

時　期	R	W_R(g)	u	v
9月，10月	0.48	6.219×10^{-5}	3.511×10^{-12}	4.871
11月，12月	0.61	12.680 〃	3.967 〃	4.952
1月，2月	0.71	19.910 〃	2.037 〃	5.110

v の値を計算すると第12表の通りとなるが，これ等の値は先に求めた未成熟群の卵巣重量と体長との関係式における k, n の95%の信頼区間内に入るつているので，成熟魚の卵原細胞と卵巣膜その他の組織の重量（W''）は同一体長の未成熟魚の卵巣重量（W）に概ね等しいと見てよいことになる。従つて卵巣重量と体長との関係式から(4)式は近似的に次の様に書き換えられる。

$$N=\frac{W'-W}{W_R}=\frac{k'L^{n'}-kL^n}{W_R} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

この式の中，k, n 及び n' は先に述べた通り殆んど一定であり，k' 及び W_R はそれぞれの時期における個有の値となつているので，9月・10月，11月・12月，1月・2月の k', n', W_R 及び k, n の値を代入してそれぞれの時期における抱卵数を計算し，それに対応する体長との関係式を上述の $N = pL^q$ の形で求めると第13表の通りとなる。之等の式は何れも先に求めた実測の抱卵数と体長との関係式（第11表）の95%の信頼区間内に入つているので，即ち抱卵数と体長との関係は9月から2月頃までほゞ一定の状態にあると見做すことが出来る。従つて9月中旬頃成熟過程に入つた卵巣は2月下旬までその卵細胞数に増減なく成熟を続けて行くことになり，この間の卵巣重量の増加は比重の低下にも拘らず卵径の増大に基因することになる。

第13表　$N=(k'L^{n'}-kL^n)/W_R$ から求めた N と L の関係

時　期	N と L との関係
9月・10月	$N=10.795\times10^{-3}\ L^{2.897}$
11月・12月	$N=7.095\times10^{-3}\ L^{2.991}$
1月・2月	$N=5.724\times10^{-3}\ L^{3.110}$

6. 卵　の　放　出

成熟群の卵巣における卵原細胞と卵巣膜その他の組織の重量が同一体長の未成熟群の卵巣重量にほゞ一致することは先に述べたが，5月・6月の産卵直後の卵巣重量（成熟度C）も又同一体長の未成熟群の卵巣重量に一致している(第1図)。即ち産卵期に放出される卵数は先に求めた9月～2月の抱卵数に概ね等しいと見做し得る。この際成長過程にある卵細胞が全部透明卵になつてから放出されるとすれば，透明卵の卵径が成長終期の不透明卵の卵径の約2倍になることから見て，放卵直前の卵巣重量は2月下旬の約8倍に達することになる。しかし本種の卵巣がかゝる大きさにまで増大することはその体制上からも到底考えられないので，不透明卵から透明卵に移行する段階で既に一部の透明卵は体外に放出されるものと推定される。試みに先に求めた3月・4月の k', n' の値を（6）式に代入してこの時期の抱卵数と体長との関係を求めると その抱卵数は9月～2月の半数以下に低下している(第4図)。但しこの場合 W_R を求めるに当つて透明卵の割合を30%と仮定したので，この関係が比較的個体差の烈しいこの時期の卵巣の状態を必らずしも代表しているとは見做されない。しかし透明卵の割合が30%前後と見られる卵巣について

その実際の抱卵数を算定すると、不透明卵のみの卵巣に較べて、その値は明らかに減少している(第4図)。尚実際にこの時期の卵巣の状態を見ると、透明卵の出現割合が10%以内では透明卵は不透明卵中に均一に分布しているが、10%を超える頃から透明卵は卵巣内の中軸部に集まり、更に20%前後に達すると卵巣前部の輸卵管開口部附近に集まつて腹部を押すと容易に卵が放出される状態になる。自然にあつてもこの状態で卵の放出が始まるものと見られ、従つて本種の産卵は唯1回の放出で終ることなく相当長期間にわたつて連続的に行われるものと推定される。又産卵期は大部分の個体においてその卵巣内の透明卵の割合が20%を超える3月下旬頃から始まり4月下旬頃まで続くものと見られる。

摘　　要

北海道太平洋岸及び八戸沖のババガレイについて、その卵巣の成熟過程を主として形態学的に追求して次の結果を得た。

1)　未成熟群の卵巣重量は周年殆んど変化がないが、成熟群の卵巣重量は9月以降どの体長のものもほゞ一定の率で増大、3月・4月頃を頂点として以後急減して未成熟群の卵巣重量とほゞ等しくなる。

2)　9月頃の成熟群の卵巣卵の卵径には0.2mm以下のものと0.4mm前後のものとの2つの集団が認められる。0.2mm以下のものは周年そのまゝの状態にあると見られるが、0.4mm前後のものは時期が進むに従つてその卵径が次第に増大し3月上旬には0.8mm前後に達する。更に3月上旬から下旬にかけて卵巣卵の一部に卵径1.7mm前後の透明卵が出現して来るが、この時期を境に卵巣の成熟過程は透明卵の卵細胞中に占める割合の増加という形で進む様である。

3)　卵細胞の比重は卵径の増大に伴つて次第に低下する。

4)　卵細胞が完全な球体であるとの仮定の下にその容積と比重から求めた卵細胞の重量は実際の資料による測定値とほゞ一致する。

5)　卵巣重量と体長との関係及び実測の抱卵数と体長との関係から成熟群の卵巣における卵原細胞と卵巣膜その他の組織の重量は同一体長の未成熟群の卵巣重量に概ね等しいと見ることが出来る。

6)　以上の結果から抱卵数と体長との関係式を9月・10月，11月・12月，1月・2月の3時期について求めると、之等の式は何れもほゞ一致するので9月頃成熟過程に入つた卵巣は2月下旬までその卵細胞数に増減なく成熟を続けて行くことになり、この間の卵巣重量の増加は主として卵径の増大に基因する。

7)　産卵期に放出される卵数は9月～2月の抱卵数に大体一致する。又卵径の増加の状態から見て不透明卵から透明卵に移り変る段階で既に一部の透明卵は体外に放出されるものと推定され従つて本種の産卵は唯1回の放出で終ることなく相当長期間にわたつて連続的に行われるものと

見られる。又産卵期は卵細胞中の透明卵の割合が20%を超える3月下旬頃から始まつて4月下旬頃まで続く様である。

終りに御指導並びに報文の御校閲を賜つた八戸支所長浜井生三博士、数値計算に御協力を頂いた石戸芳男氏、石戸静子氏に厚く感謝の意を表する。

参　考　文　献

1) 古川・池田（1954）南海区における底魚類の生態学的研究 1　ホウボウ科魚類の食性と産卵について　日水会誌 **19**（4）
2) 池田郁夫（1954）キグチ資源の研究 1　生殖巣を中心として　西海区水研報告　第4号
3) 狩谷・白旗（1955）マコガレイ卵巣卵の成熟過程について　日水会誌 **21**（7）
4) 増山元三郎（1949）小数例の纏め方と実験計画の立て方　河出書房

東北水研　研究報告
第10号
Nov. 1957

松島湾の水産資源に関する基礎研究※

第5報　塩釜港の柴漬について

谷田専治・佐藤重勝

FUNDAMENTAL INVESTIGATION ON THE MARINE RESOURCES OF MATSUSHIMA BAY

V. ON "SHIBAZUKE" AT THE SHIOGAMA HARBOUR

Senji TANITA and Shigekatsu SATO

Nearly the whole area of Matsushima bay is covered with *Zostera marina*. In areas, where the density of *Zostera* is comparatively less, "shibazuke" are set from April to August for the purpose of catching shrimps, eels and other fishes.

"Shibazuke" is a primitive fishing implement consisting of terrestrial leafy plants or algae tied into a bundle. The fishing is made as follows; (1) the bundle is tied with a rope to a bamboo pole thrust in the sea bottom; the bundle then sinks to the sea bottom where it is left until the time to pull it up, (2) then after some time the bundle is pulled up and the animals are scooped from it with a little scoop-net. Thus shrimps, eels and other fishes that have roosted in the bundle are caught.

"Shibazuke", though of small size, offers a kind of shelter to the animals and contains food animals of fishes as in the case of *Zostera*. From this point of view, this study may be a step-stone to investigations on the *Zostera* zones.

In this investigation, "shibazuke" were set from November 1954 to September 1955 and from April to November 1956 in the Magakizima area of the Shiogama Harbour where *Zostera* is so few that the area might be classified as a mud zone rather a *Zostera* zone. Besides the above, three areas were selected in the Shiogama Harbour, and "shibazuke" were set from March to July 1955 and in these four areas fishings were also done by the seine net in August 1955.

The results are as follows;

(1) Species of animals caught are similar to those which have been observed in other various *Zostera* zones.

(2) Individual numbers of animals and sizes of the shrimps change with materials and internal structures of the "shibazuke".

(3) Animal numbers may not be generally limited by the capacity of the "shibazuke". Accordingly, the "shibazuke" that contained comparatively more animals after

※ 東北海区水産研究所業績　第105号

long setting, contain more after a short time.

(4) Fishing ability decreases according to the elapse of time from its set.

(5) Shrimps enter most abundantly at the maximum of the ebb tide, though the other animals are not distinctly recognized to do so.

(6) Differrences of catches between day and night was not noticed.

(7) The fishing intervals influence the catches. As far as this investigation is concerned, the intervals giving the best catches are four days.

(8) From the research on the stomach contents of the fishes caught, they are thought to take no food in "shibazuke".

(9) The density and viscitude of *Zostera* influences the catches by "shibazuke"; the more the *Zostera* of the area, the smaller the catches. Catches by seine net are in contrast to the above.

緒　　論

松島湾は航路と澪とを除いて殆んど湾全体にアマモが密生して一大藻場を形成し、種々の生物の成育場として重要な意義をもつているように考えられる。藻場に多くの生物が集る理由としては、逃避行動或いは摂餌行動が考えられ、この面から調査研究が進められている（例えば、大島1952, 京都大学海洋生物グループ1956)。

松島湾の二次湾である塩釜港は港奥及び航路には全くアマモがなく、その他の部分も比較的アマモが少い。松島湾内のアマモが比較的少い処にはウナギ・小魚・エビ類の漁獲を目的として、4月～9月に柴漬*1が設置され、塩釜から松島海岸・手樽・東名方面にかけて湾奥一帯、及び桂島北方に点々と多数の柴漬が見られる。塩釜港のうちではアマモの少い泥場ともいうべき籬島附近に、特に多数の柴漬が業者により設置されている。藻場と同様に、小さくはあるが一種の逃避場であり、その中に食餌となり得る小さな生物が入つている柴漬は、藻場の調査に対する一つの手掛りを与えるものと考えられる。

本報告は上述の観点から塩釜港の柴漬とこれによつて得られる生物との間の種々の関係を吟味した結果を報告する。尚比較のために、アマモの密生している他の地点及び柴漬以外の漁法（曳網）による調査も行つたので、之も併せて報告する。

尚エビの同定は、東京水産大学教授久保伊津男博士によるもので、ここに記して深く謝意を表する。又魚類の科名の指示をいただいた本所の堀田・川崎両技官にも御礼を申し上げる。

方　　法

使用した柴漬は、笹・松・楢等の長さ1m内外のものを基部で揃えて其処を固く縄で束ね、束

*1 この漁具は地方により、又その材料及び漁獲の目的生物により種々に呼称されている．例えば、篠漬・笹挿し・麁朶漬（農商務省水産局1912)、ささびて（岡田・久保 1950)。この附近の業者は総称してボタと云う。又時にササブセ・ササヅケ等と呼ぶこともあるが、之は専らボクの説明に用いられているようである。又材料によつてササツバ・ナラツバと呼ぶこともある．又材料に海藻のオオバモク・ツルモを用いる場合があり（黒木宗尚 1954)、ホンダワラを用いる場合もあるが、前記のササツバ・ナラツバという呼称に対比して之等海藻のものだけをボタと呼ぶ場合もある。勿論之等海藻も業者は材料によりシシモ（オオバモク)・ガラツバ（ホンダワラ）と呼ぶこともある。本報では一般に使われているシバヅケを易しく柴漬と表現した。

ねた部分の太さは直径約20cm位、束ねない先端部は直径約80cm位の箒状にした。之を海底に突立てた竹に繩で結び、箒状部が海底に接するようにした[*2]。之を少くとも2週間に1度は採集するように努めた。採集の際は柴漬が充分入る大いさの叉手網（約2mm目の綟子網製）を用いた。先づ柴漬を除々に引上げ、それが水面近くに達した時に叉手網を柴漬の下方に廻し、柴漬を網の上で数回強く揺り動かし、網に落ちた生物を採集した。

採集された生物のうち、エビ類は各種類別に性・頭胸甲長を調べ、必要に応じて重量を測定した。その際性の判別は岡田・久保（1950）に従つて第2腹肢内肢に雄性突起のあるものを雄、ないものを雌とした。頭胸甲長は眼窩後縁より頭胸甲長後端までを測定した。魚類は、通称又は科名別に数を調べ、時に重量・体長及び胃内容を調べた。

第1図　調査地点

柴漬の設置地点・材料及び採集の回数等は第1表に示した。又比較のために行つた曳網調査（1955年8月10日に唯1回宛実施した）の地点と柴漬の設置地点を第1図に示した。

柴漬の採集株数が同じ設置年月日のものでも相当大きな変化があるのは次の理由である。1956年9月6日設置のものは放置時間比較のため故意に採集株数を変えたが、他の場合はすべての柴

第1表　柴漬の設置及び採集

設置地点	設置年月日	柴漬材料	最終採集年月日	採集回数	各回採集株数	採集間隔
A（籬島附近）	1954年11月 2日	笹・楢	1955年 3月31日	15	12～ 5	2～18日
	1955年 3月16日	笹	6月15日	5	11～ 2	10～34日
	7月29日	松・楢	9月23日	13	4～ 2	3～15日
	8月17日	松	9月23日	11	2	3～ 4日
	8月31日	松	9月23日	7	2	3～ 4日
	1956年 4月11日	笹・松・ねず	1956年 9月11日	19	13～ 9	6時間～18日
	9月 6日	松	11月 5日	12	8～ 2	2～17日
B（一匹島地先）	1955年 3月16日	笹	1955年 6月15日	3	8～ 6	19～54日
	7月29日	松・笹・楢	8月12日	1	4	12日
C（馬放島附近）	3月16日	笹	6月15日	3	5～ 4	19～54日
	7月29日	松・笹・楢	8月10日	1	5	12日
D（在城島附近）	3月16日	笹	7月29日	4	8～ 4	19～54日
	7月29日	松・笹・楢	8月10日	1	3	12日

*2　業者によるとウナギの漁獲を目的とする場合は水底から少しく離して設置する。特に夏期には殆んど水面に浮ぶようにすると漁獲が多い。エビ類を目的とする場合は海底に接するようにする方がよいと云う。然し常時浮游状態にしておくことは技術的に困難であるので、海底に接するようにした。

漬を各回共採集した。然し、柴漬が破損して能力がなくなつたと思われるもの、縄が竹に巻きついて浮上したもの、又は何等かの理由で縄が切れて流失したもの等は採集株数から除いた為である。原則的には柴漬は一旦設置したらそれらが全部使用に堪えなくなるまで設置して採集した。

設置地点の水深は1954·1955両年は約1.0～2.0mであり、1956年は之より稍々深く2.5m位であつた。曳網地点の水深は各地点共なるべく柴漬設置地点の傍を選んだ。水深は各地点共3m位で使用した網は濾過面が直径1mの半円の鉄枠に綿子網をつけたもので、之を約50m曳行した。

尚各地点のアマモの厚薄を記せば、在城島附近(St. D)は最もアマモ密生し、以下馬放島附近(St. C)、一匹島地先(St. B)の順に少く、籬島附近(St. A)は殆んど泥場である。

第2表　月別採集生物種類

生物種類 ＼ 年	1954		1955									1956							
月	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9	10	11
エビ類																			
コビヤエビ									+	+									
シバエビ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ヘラエビ							+						+						
モエビ							+						+	+	+				
シマエビ							+										+		
ガリモエビ							+												
ツノモエビ																			
アシナガモエビ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ムラサキエビ									+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
の一種											+			+		+			
テッポウエビ																			
カニ類																			
ソガニ	+					+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	
イシガニ								+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ヨツバモガニ							+						+	+					
魚類																			
ボゼ	+	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+			+	+
ヨチ	+		+		+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
カメ						+													
ゴルグ							+						+	+					
キゴ							+						+						
ヨゴギ													+						
ボラ													+						
カジカ																			
メゴチ																			
クヂ																			
又はイナメ						+							+						
サバ													+						
カメフグ							+												
サシ							+			+									
マトウ	+	+					+			+	+		+						
イシガレイ							+												
ツノガレイ																			
オヤニラミ																			
トウゴロウイワシ																			
シラウオ							+												
ヨシノボリ							+												
ギンポ																			
その他																			
リラ	+	+	+				+				+								
ミビ							+												
カシロ							+												
ドロ						+													
カレイ	+	+					+	+					+						
ヤワラ							+												
アコウ	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
ハエ													+						
ノセ													+						
ヒメイ						+							+						
ウミ						+	+						+						
アシムラ										+									
マツムシ													+						
ルテン													+						
ガザミ							+												
ブドウ							+				+								
種類数	10	7	6	4	8	10	21	7	11	15	14	15	28	17	11	9	9	8	6

結　　果

（I） 採集された生物

略々2年に亙る調査期間を通じて採集された生物は、第2表に示されるように、エビ類9種、カニ類3種、魚類14種以上、その他10種以上であつた。このうち殆んどの魚類は、大島(1954)、日下部（未発表）によつて、又魚類以外の他の生物を含めた場合も、宇都宮(1954)・京都大学海洋生物グループ（1956）によつて報告された藻場の生物とよく似ている。之等の相似は、泥場ともいうべき籬島附近の条件を考慮に入れると、藻場と柴漬との機能の相似していることを示すものと考えられる。

魚類の種類数は5月が最も多い。宇都宮（1954）・大島（1954）・日下部（未発表）によると何れも8月～10月に多い。又谷田・堀田・菅波（1957）によつて報告された松島湾の簀建の漁獲物を主とした魚類調査によつても、種類数は5月に急増するが最も多いのは7月、8月である。上記の藻場に関する4報文と第2表によつて示された本調査の種類数を比較すると、本調査では6月以降急に少くなつてゆく点が著しく異つている。之は恐らくアマモの伸長期と関係があるのではないかと考えられる。新崎（1950）によるとアマモの伸長は6月が最盛期であるが、松島湾でも同様であり、この時期には柴漬に入るような生物はアマモの密生した藻場地帯に集中するようになり、藻場の外、特に泥場では密度が小になるためではないかと考えられる。同様のことはモエビの類についても考えられるが、この点については更に検討を要する。

第3表　柴漬1株平均月別採集生物数

年	月	柴漬数	シラエビ	コモシマエガリビ	アモシエナガビ	エビの一種ムラサキ	イソガニ	イシガニ	ギンポ	ハゼ	ヤドカリ	アミ	コノハエビ	ウミセミ	ワレカラ
1954	11	52	101		2						5	7		15	
	12	18	57		11						4	1		13	
1955	1	10	51		6						1			7	
	2	10	20		1						1				
	3	10	7						10		5				
	4	11	5		1				7					12	
	5	17	1		25				7		11			12	5
	6	2	5		8						50			14	
	7	5*	46							2	?			362	
	8	19	97		1	9	12	1		4	63		14	26	
	9	42	150		1	5	6	1		15	11		1	22	
1956	4	10	86					1		9				2	
	5	27	35	6			2	2	3			1		25	
	6	24	18	25			1	1		1					
	7	16	37					2		1					
	8	8	4		1	8		1		1					
	9	46	10		1	1		1		6		1		6	
	10	16	5					1					1	2	
	11	8	1		2				1						

* 業者の柴漬を使用した。

柴漬1株平均月別採集生物数を第3表に示した。周年多いのはシラエビ*3で、アシナガモエビ・ヤドカリ・ウミセミが之に次ぎ、他は少い。ハゼとギンポはある時期には相当数採集されている。之等の他にも、常時少数乍ら各種の魚類が得られるが、殆んどが稚魚であつた。本調査では最も多いシラエビと常時少数乍ら採集された魚類を中心として柴漬の吟味を行つてゆくこととする。尚、1954・1955両年と1956年とを比較すると若干設置地点が異つており、前者は沿岸寄りで比較的浅く、後者は航路沿いで比較的深い。両年の間で著しく異つているカニ類の出現時期及びヤドカリ・ウミセミの採集数はこの水深の差異に基くものと考えられる。シラエビも異つているが之については後報で詳しく述べることにする。

(II) 柴漬の性質及び採集時間と採集生物の変化

(1) 柴漬の性質

(A) 材　　料

柴漬の材料として用いられるものは、松・楢・笹等の陸上植物とオオバモク・ツルモ・ホンダワラ等の海藻とがある。海藻は半浮游状態にしておくので、設置状態を安定させるのが難しく、且入手も困難であつたので本調査では使用していない。本調査では笹及び楢と松・笹及びネズによる比較調査を行つた。

先づ笹と楢の柴漬を略々同様の大いさに作つて近くに設置した結果を第4表に示す。

魚類についてみると、楢柴漬（楢を用いた柴漬、以下之に準ずる）では設置当初に僅か採集されるが、日数が経過すると採集されなくなる。笹柴漬では2ケ月を経過しても採集される。

エビ類についてみると、楢柴漬では設置当初がむしろ多く、日数経過と共に次第に少くなる。笹柴漬では極く当初は採集数皆無で、次第に多くなり、2ケ月を経過しても左程少くならない。

第4表　松及び楢柴漬による採集生物（1954年11月2日設置）

採集		笹										楢									
		株	魚	ウミセミ	ヤドカリ	シラエビ						株	魚	ウミセミ	ヤドカリ	シラエビ					
年	月日	数	類			総数	株平均	C.L.*	同左♀	同左♂	S.R.**	数	類			総数	株平均	C.L.	同左♀	同左♂	S.R.
1954	11. 4	4										7	2		18	432	62	5.46	5.88	4.92	77.9
	5	4	2			273	68	5.30	5.74	4.86	99.3	6	1			375	63	5.24	5.68	4.92	132.9
	12	4	1		9	926	232	5.34	5.83	4.85	100.9	4			12	610	153	5.14	5.87	4.78	106.9
	18	4	4			777	194	5.62	6.49	4.96	94.3	4				664	166	5.18	5.62	4.81	122.8
	12. 6	4	1			170	43	5.33	5.89	4.89	129.7	2				62	31	5.21	5.57	4.90	121.4
	15	4		21	7	425	106	5.40	5.95	4.89	109.0	2		16	6	155	78	5.51	5.82	4.92	53.6
	23	4		79	14	156	44	5.18	5.64	4.83	126.1	2		34	11	44	22	4.73	5.08	4.57	214.3
1955	1. 4	4	2			96	24	5.24	5.69	4.89	128.6	1				11	11	4.76	5.15	4.67	450.0
	17	4	2	36	5	377	94	5.15	5.55	4.75	102.7	1		3	1	78	78	5.12	5.77	4.74	90.0
	2. 4	4		1	5	112	28	5.16	5.56	4.79	113.2	1				9	9	4.91	6.15	4.95	200.0

*　頭胸甲長平均 mm
**　性比，但し♀を 100 としたときの♂

*3 *Palaemon macrodactylus* RATHBUM を当地の業者はシラエビと呼んでいる。又池末（1956）によると佐賀県でもこのエビをシラエビと呼ぶ。久保（私信）によると本種は和名がつけられていない。従つて本報では通称に従つてシラエビを用いておく。

之等の差異は、楢柴漬が笹柴漬より沈み易いためと考えられる。楢柴漬は設置当初は海底上の好位置に安定して、エビ類・魚類共に採集されるが、次第に沈みすぎて泥に埋り、採集数が減少する結果になつたと考えられる。笹柴漬は設置当初は全く沈まず、従つて採集数は皆無であつたが、暫くたつと沈み、以後は沈み過ぎて泥にまみれるということはなく、エビ類・魚類共に継続して採集されたと考えられる。

ウミセミ・ヤドカリ等については、特に両材料の差は認め難い。

個体数の最も多いシラエビは、柴漬1株平均採集個体数を比較すると、どの採集日に於ても笹柴漬が大である。又このエビの頭胸甲長平均をみると、12月15日を除くと他の場合は何れも笹柴漬の方が楢柴漬より大である。

このエビは雌が雄に比して著しく大で、この時期には頭胸甲長で略々1.0mm大である。従つて上述の笹柴漬で得られるエビが大型であることが、雌が多いためか否かをみると、12月15日を除くと他は雌雄略々等しいか又は楢柴漬の方が雌が少い。従つて現象だけをみると、笹柴漬のエビが大型であることはこの性比の差によるとも考えられる。然し第4表によると、雌のみの頭胸甲長を笹柴漬と楢柴漬で比較すると、これも笹柴漬の方が大であるから、むしろ性比の差は大型エビが多いことから出た二次的な現象であると考えられる。

又大型エビが多いことが、柴漬内部の個体数の増大に伴う密度効果によるか否かを吟味する必要がある。実験室内に生きたシラエビを持ち帰り充分大きなバットに放して、このバットに之等のエビが僅かしか入ることが出来ない小さな柴漬を下げると、大型のシラエビが、先に柴漬に入つた小型のシラエビを追い出す場合も観察された。このような事が、現場の柴漬で引続いて起れば、個体数が大になるにつれて大型エビが多くなる。即ち笹柴漬のエビが大型であることは採集個体数が大であるためにすぎない。従つて笹柴漬と楢柴漬の差異は単に採集数の大小だけで、エビの大型なこと及び雌が多いことは共に採集数の差異による二次的な現象となるが、この点については資料が不足であり此処では結論を保留しておくことにする。

次に松・笹及びネズの3種の異なる材料を用いた結果を第5表に示した。

エビ類の採集数は、3種の材料を比較すると、ネズは初期に、松は中頃に、笹は終頃に、他より多くなつている。魚類は、ネズでは極く初期にだけ然も余り多数でなく、松は初期に多く、笹は初期は後期より稍々多い程度で設置期間全般に亙つて採集されている。之は前述の笹及び楢の場合と同様に之等3種の材料が沈む度合によく対応している。

設置期間全体を通じてみれば、3種の材料による柴漬で採集される生物数は、前述の笹・楢の場合ほど著しい差は見られない。之は或いは之を設置した季節によるのか、又はこの場合は3種共視覚的ではあるが内部の充実状態を相似するようにした事によるのではないかと考えられる。

(B) 内部の構造（疎密）及び大いさ

松・笹及びネズの3種の柴漬を各々内部を密にしたもの、疎にしたもの、及び外形を著しく小

第5表　松・笹及びネズ柴漬1株平均採集生物数　(1956年4月11日設置)

	採集 月	採集 日	採集 時	放置時間	内部構造	松 株数	松 シラエビ	松 その他のエビ	松 魚	松 カニ	松 ウミセミ	松 その他	笹 株数	笹 シラエビ	笹 その他のエビ	笹 魚	笹 カニ	笹 ウミセミ	笹 その他	ネズ 株数	ネズ シラエビ	ネズ その他のエビ	ネズ 魚	ネズ カニ	ネズ ウミセミ	ネズ その他
Ⅰ 長時間放置、昼間採集	4	25	16.0	4日	密	2	62.0		14.0		1.5	4.0	2	103.0	0.5	10.5			0.5	2	121.0		9.0		1.5	22.5
					疎	2	85.5		5.5		2.5	3.0	2	59.5		10.5		3.0		0						
					小	1	31.0		2.0			6.0	1	21.0		3.0				1	81.0		9.0		1.0	2.0
	5	7	13.5	12日	密	2	71.5		5.5	2.0	32.5	41.0	2	63.5		2.0	3.5	28.0	16.5	2	72.0		4.5	7.0	14.5	30.0
					疎	2	66.5		1.5	1.5	39.0	9.5	2	57.5		3.0	1.5	36.0	20.0	0						
					小	1	20.0		4.0	1.0	9.0	2.0	1	24.0		4.0		17.0	12.0	1	38.0		1.0	1.0	10.0	8.0
	5	15	13.3	7日	密	2	20.0	0.5	6.5	2.0	27.5	11.0	2	20.5		6.5	3.0	6.5	11.5	1	15.0		5.0	5.0	13.0	11.0
					疎	2	11.0	3.5	8.0	1.5	27.5	9.0	2	14.5	4.0	2.0	0.5	24.0	18.5	0						
	5	26	10.0	11日	密	2	30.0	31.0	1.0	4.5	17.5	23.0	2	16.5	21.0		7.0	11.5	17.0	1	20.0	26.0	4.0	10.0	18.0	32.0
					疎	1	5.0	31.0	3.0	1.0	43.0	8.0	2	8.5	1.5	1.0	1.5	16.5	11.5	0						
	6	1	14.2	5日	密	2	5.0	21.5	0.5	3.0	0.5	15.0	2	13.0	28.5	0.5	2.5		5.0	1	7.0	13.0	2.0	3.0		29.0
					疎	1	7.0	13.0		6.0		29.0	2	3.5	33.0	1.0	2.0	1.0	2.5	0						
	6	15	13.3	7日	密	2	25.0	35.5	0.5	0.5	0.5		2	17.5	33.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1	3.0	77.0		3.0		2.0
					疎	1	22.0	2.0					2	9.5	65.5	1.0	2.0	1.0	2.5	0						
	6	27	10.0	12日	密	2	34.5	2.5	1.0			3.5	2	37.0	10.0	2.0	1.0			1	19.0	2.0		3.0		31.0
					疎	1	23.0		1.0				2	25.0	9.5	2.0	0.5		13.5	0						
	7	11	10.5	15日	密	2	42.5		0.5	2.0			2	47.0	1.0	1.0	1.5			1	55.0	2.0		1.0		
					疎	1	45.0						2	68.5	6.0	0.5	1.5			0						
	7	27	10.3	16日	密	2	18.0	1.5	2.0	2.5			2	24.0	0.5	3.0	2.0			1	23.0	2.0		1.0		
					疎	1	15.0			2.0			2	26.0	4.5	0.5	2.5			0						
	8	14	10.0	18日	密	2	3.0			1.0			2	4.5	0.5	1.0	1.0			1	2.0		1.0			
					疎	1	1.0			4.0			2	4.5	35.5	5.0	1.5			0						
Ⅱ 短時間放置、昼夜採集	5	7	19.3	6時	密	2	7.0		1.0		4.0	21.5	2	12.0		3.5	0.5	13.0	11.5	2	2.0		4.0	0.5	7.0	14.5
					疎	2	1.5			0.5	9.0	11.5	2	2.0		1.5		8.0	12.5	0						
					小	1	2.0			1.0	2.0	3.0	1	3.0		2.0		6.0	7.0	1				1.0	3.0	13.0
	5	8	2.0	7時	密	2	4.0		0.5		1.5	20.0	2	5.5	0.5	1.0		2.0	14.0	2	3.0		1.5	1.0	5.0	22.5
					疎	2	2.0				3.5	8.5	2	0.5		0.5		4.0	22.0	0						
					小	1	1.0				1.0	2.0	1	2.0				2.0	10.0	1	1.0				1.0	2.0
	5	8	9.0	7時	密	2	0.5		1.0		1.5	0.5	2	1.5		0.5			1.0	2						
					疎	2			0.5		0.5	4.5	2	0.5		0.5				0						
					小	1							1							1			0.5			
	5	8	14.3	6時	密	2	0.5				0.5		2	1.0					1.0	2	0.5			0.5		1.0
					疎	2							2	0.5		0.5				0						
					小	1							1							1						
	6	1	21.4	7時	密	2	0.5	0.5	1.0	0.5			2			0.5	0.5			1	3.0		2.0			34.0
					疎	1				1.0	9.0		2		0.5		0.5		3.5	0						
	6	2	4.0	6時	密	2	1.0		0.5				2	2.5				2.0	2.0	1				1.0		
					疎	1	3.0						2	1.0		1.0				0						
	6	2	10.5	7時	密	2	0.5						2	2.0		1.0				1	3.0		3.0			2.0
					疎	1			3.0				2						0.5	0						

さくしたものを使用した結果は第5表に示した通りである。

先づ小なるものについてみると、小なるものはエビ類·魚類·カニ類その他の生物何れも少い。

内部の疎密により採集数が変化することは、第5表Ⅰに見られるように、エビ類・魚類・カニ類何れも明かに密な方が多い。特にこの傾向は、最も多く採集されたシラエビでは顕著である。

又第5表Ⅱに見られるように、この傾向は短かい時間で採集を繰返しても変化はない。即ち採集数の多い密な柴漬には、採集数の少い疎な柴漬に比して、初めから多くのエビや魚が入つてゆくものと考えられる。換言すれば、柴漬にエビや魚が多く入るか否かは、その柴漬の収容能力の大小によるのではなく、単位時間内に入るエビが多いか否かによるものと考えられる。

第6表　シラエビの平均体重（mg）と株平均採集個体数

採集		柴漬の	松		笹		ネズ	
月	日	内部構造	平均体重	個体数	平均体重	個体数	平均体重	個体数
4	25	密	358	61.8	388	103.0	438	121.0
		疎	339	85.5	403	59.5	—	—
5	7	密	392	71.5	402	63.5	486	72.0
		疎	361	66.5	417	57.5	—	—
6	27	密	1217	34.5	1000	37.0	816	19.0
		疎	1196	23.0	1240	25.0	—	—
7	11	密	1153	42.5	1351	47.0	1236	55.0
		疎	1122	45.0	1161	68.5	—	—

この調査ではエビの頭胸甲長測定を行つていないので、参考のために之等の平均体重を第6表に示した。体重は生で測定したので、或程度多数個体が採集された日のみについて示した。前述の笹・楢両材料の場合は、採集数の大なるときはエビの大いさも大であつたが、第6表では採集数と大いさが一致しない。従つて先に結論を保留した採集数と採集個体の大いさとは別の条件によるものと考えられる。柴漬は海水中に浸漬しておくと次第に葉が抜けて変形してくるので、当然柴漬内部の構造も変化してくる。まだ変形が著しくない期間（4月5月）内の柴漬を、エビの大型のものが入る順に並べると、ネズ密・笹疎・笹密・松密・松疎となる。

上記の諸結果から考えると、エビが柴漬に入る際には相当選択性を持つており、各個体が好む柴漬を選択して入るものと考えられる。

(C)　設置後の経過日数

第4表及び第5表Ⅰをみると、柴漬は材料及び内部構造の如何に拘らず、設置後の日数が経過するにつれて、採集生物が次第に減少する傾向がみられる。然しこの傾向にも波があり、又この傾向が柴漬自体の性質変化によるのか生物群衆自体の変動によるものか判別出来ない。この点を明かにするため、1956年8月に同種材料の柴漬（松2株宛）を用いて、日数を置いて3回に分けて設置した結果を第7表に示した。

8月17日設置の8月20日採集分を除けば、エビ類・カニ類・魚類及びその他の生物についても、

第7表　設置月日の異る松柴漬2株による採集生物個体数及び重量(g)

採集					7月29日設置		8月17日設置		8月31日設置	
月	日	時間	潮	生物種類	個体数	重量	個体数	重量	個体数	重量
8	20	10.00	干	シラエビ	194	43.0	12	1.0		
				その他のエビ類	37	2.0	2	0.0		
				魚類	20	2.0	11	1.5		
				カニ類	55	9.5	2	0.5		
				ウミセミ	91	6.5	267	16.0		
				その他	217	51.5	90	1.7		
8	23	10.00	干	シラエビ	104	32.0	89	15.5		
				その他のエビ類	20	1.0	7	0.5		
				魚類	1	0.5	12	28.0		
				カニ類	72	12.5	11	13.5		
				ウミセミ	100	5.5	560	28.0		
				その他	171	62.5	84	22.5		
8	26	10.00	満	シラエビ	152	28.5	236	43.5		
				その他のエビ類	12	0.5	18	1.0		
				魚類	10	5.5	14	5.5		
				カニ類	24	11.5	17	10.0		
				ウミセミ	30	2.0	111	8.0		
				その他	113	58.5	131	85.0		
8	31	10.00	満	シラエビ	239	51.0	351	78.0		
				その他のエビ類	33	2.0	42	2.0		
				魚類	14	26.0	13	15.5		
				カニ類	29	21.0	35	19.5		
				ウミセミ	0	0.0	0	0.0		
				その他	?	151.0	?	253.0		
9	3	10.00	干	シラエビ	249	61.0	521	129.0	712	161.5
				その他のエビ類	11	2.0	23	12.5	16	1.5
				魚類	10	4.5	43	8.0	54	33.0
				カニ類	31	9.5	31	67.5	45	17.5
				ウミセミ	2	0.5	142	4.0	43	2.0
				その他	88	55.0	212	128.5	62	42.5
9	6	10.00	干	シラエビ	185	55.0	110	33.5	546	137.0
				その他のエビ類	9	1.0	7	0.5	3	0.0
				魚類	26	2.5	34	21.0	36	3.5
				カニ類	15	22.5	8	4.5	24	10.5
				ウミセミ	0	0.0	40	1.5	5	0.5
				その他	16	11.5	17	9.5	44	28.0
9	9	10.00	干	シラエビ	147	41.5	126	38.0	451	129.0
				その他のエビ類	10	0.5	4	0.5	2	0.0
				魚類	17	2.5	30	4.5	49	6.0
				カニ類	10	17.5	8	12.5	19	17.5
				ウミセミ	0	0.0	8	1.0	16	1.0
				その他	12	6.5	17	8.5	21	23.0
9	12	10.00	満	シラエビ	16	7.0	30	10.0	49	15.0
				その他のエビ類	0	0.0	0	0.0	0	0.0
				魚類	40	28.5	30	3.0	62	6.0
				カニ類	4	17.0	1	10.0	1	0.5
				ウミセミ	32	1.0	25	1.5	72	2.0
				その他	3	1.5	3	1.5	3	2.0
9	15	10.30	満	シラエビ	31	11.0	174	59.0	229	64.0
				その他のエビ類	2	0.0	2	0.0	5	0.5
				魚類	31	3.0	29	15.0	90	8.5
				カニ類	4	14.0	6	29.5	6	1.5
				ウミセミ	30	1.0	56	2.0	130	4.5
				その他	1	1.0	4	1.0	0	0.0

9	19	10.00	干	シラエビ	45	11.5	253	68.5	512	135.5
				その他のエビ	1	0.0	1	0.0	10	0.5
				魚類	16	2.0	17	12.5	44	9.5
				カニ類	1	6.5	4	19.5	19	19.0
				ウミセミ	10	0.5	11	1.0	168	5.5
				その他	2	1.5	6	2.5	4	1.5
9	23	8.50	満	シラエビ	4	1.0	15	3.5	5	1.5
				その他のエビ	15	1.5	24	1.5	89	7.5
				魚類	0	0.0	0	0.0	0	0.0
				カニ類	4	55.5	14	67.5	59	129.0
				ウミセミ	31	0.5	62	1.0	52	1.0
				その他	0	0.0	5	2.0	13	8.0

古い柴漬程採集数が少く新しい柴漬ほど多い。8月17日設置のものは恐らく設置状態不良だつたため、8月20日の採集数は少なかつたと考えられる。

又9月30日の如く採集数の大な日に、新柴漬が古柴漬に比して大な採集数を示すだけでなく、9月13日の如く採集数の小な日にもこの順序は変らない。之は前述したように、採集数の大なことは柴漬の収容能力によるものでないことを示しているものと考えられる。

第8表にはシラエビの平均重量比を示した。表によると8月17日及び8月31日設置の柴漬は、古柴漬に比すると、設置当初採集されるエビは著しく小さい。之は設置当初は柴漬の内部構造が安定しないためと考えられる。1週間位経過すると略々安定してエビの大いさの差は小さくなり1ケ月位は続くものと考えられる。

第8表　柴漬の経過日数とシラエビ平均重量比*　(但し株当り25個体以上のもの)

設置月日		7月29日		8月17日		8月31日	
採集日	採集月	経過日数	重量比*	経過日数	重量比	経過日数	重量比
8	23	25	177	6	100		
	26	28	102	9	100		
	31	32	96	13	100		
9	3	35	86	16	100	3	79
	6	38	97	19	100	6	82
	9	44	93	22	100	9	95
	15			28	100	15	82
	19			32	100	19	98

* 各採集日とも8月17日設置のものを100とした。

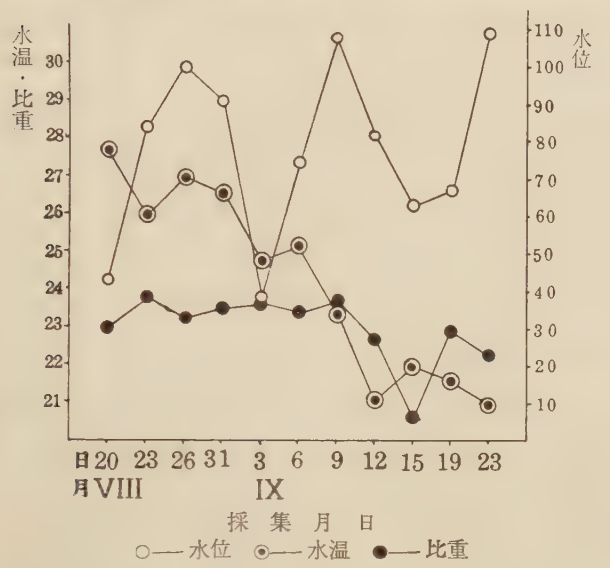
(2) 採集時間

(A) 潮時

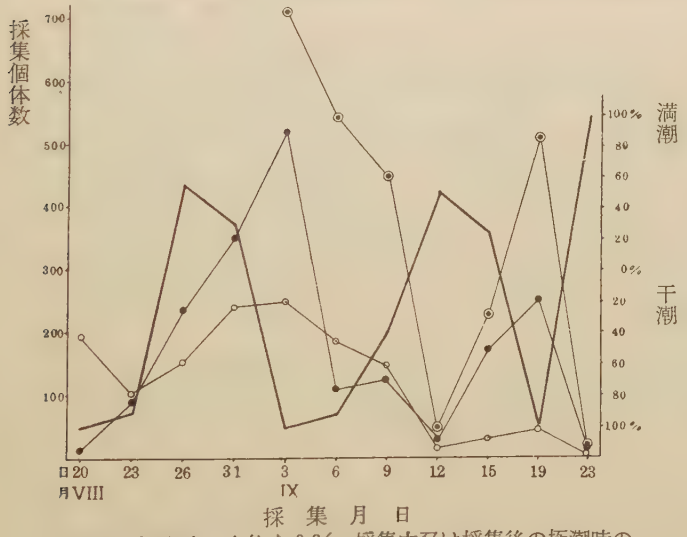
柴漬の採集が潮時と密接な関係があることは、業者によつて既に知られている。この関係を明かにするために、3・4日置きに同時刻に採集を行つた結果は既に第7表に示した通りである。この際新旧3種の柴漬を用いたのは、柴漬の性質の変化によつて潮時との関係が不明瞭になる事を考慮に入れたものである。現に7月29日設置の柴漬は9月19日には、既にシラエビの採集数が少くなつて潮時との関係が認め難くなつている。

第7表によると、シラエビを除く他の生物は個体数も少く変化の傾向も明かでない。然し、シ

第2図　採集時の水位（基準面よりcm）及び当日10時の水温（°C）と比重（σ_{15}）



第3図　松柴漬2株によつて採集されたシラエビの数とその時の潮*



* 採集前の極潮時の水位を0%、採集中又は採集後の極潮時の水位を100%とする。

—— 潮　　○—○ 7月29日設置

●—● 8月17日設置　　⊙—⊙ 8月31日設置

ラエビの採集数は明かに新旧3種柴漬共9月3日及び19日の増大と12日の減小がみられる。

各採集日の水位(基準面より)及び各採集日の10時における水温・比重を第2図に示した。水温・比重については特にシラエビの採集個体数と関係があるとは思われない。然し水位は9月3日及び19日は何れも他の日に比較すると低い。然し、之と対照的な採集数を示した12日の水位は左程高くはない。然し何等かの関係があるようには考えられる。

次に之等水位を満潮と干潮に分けて、前の極潮時からの水位変化を百分率であらわしたものをシラエビの採集個体数と共に第3図に示した。図によれば明かなように、9月3日は水位も低く又最干潮であり、9月19日は水位は稍々高いがやはり最干潮である。又9月12日は水位は左程高くはないが、潮が満ちてきている点で他と異る。然も他の採集日に於ても両者は密接な関係がある。又最終回の9月23日は最満潮時に採集を行つたが、シラエビ採集個体数は最小であつた。従つてシラエビの採集個体数は干潮に大、満潮に小で、最干潮時に最大であると云えよう。

潮流と漁獲の関係については種々の水産生物について云われている。エビ類についても、安田その他（1953）によればアキアミは曳網漁場で小潮時に多いと云われ、前川・八柳（1953）に

よるとサルエビ・アカエビ・トラエビの打瀬網及び底曳網漁場では大潮時に多いと云われている。従つて柴漬採集が潮時と関係があるのは何等異とするに足りないが、このような顕著な差異（例えば12日と3日を比較すれば約15倍）は興味深い事実と考えられる。

又、本調査は3・4日おきの採集であるから、この間の最干潮に入つたシラエビは次の満潮時には相当数が柴漬から出てゆくものと考えられる。即ち柴漬に入つたシラエビが全部そのまゝ止つているものではなく、潮とともに出たり入つたりしているものと考えられる。

(B) 昼　　夜

夜間の採集は既に第5表に示した通りで、5月7日・8日及び6月1日・2日の僅か2回しか行つていない。エビ類では前述のように潮時との関係が大であり、他の生物は採集数が極く小なので昼夜の差を明かにすることは難しい。エビ類についてみると、5月7日は採集数は大であるが最干潮であるから、之を夕刻のためであると云う事は出来ない。但し8日2時の採集数が左程小でなくむしろ大であるのは、この時満潮であることを考えると夜間のためとも考えられる。6月2日4時は他に比し若干多いが最干潮であるからはつきりしない。採集数に及ぼす要因としては潮時に比すれば比較的小であるとは考えられるが、昼夜と採集との関係を分析するためには更に調査を重ねる必要がある。

(C) 放置時間（採集間隔）

既に潮時の項で述べたように、シラエビは満潮時には柴漬外へ逸出すると考えられるので、一旦設置した柴漬は採集回数を増しても1採集当りの採集数は変化が少いようにも考えられるが、短時間で採集を繰返した第5表Ⅱの場合の採集数は非常に少い。之等矛盾した2事実から考えられる事は、やはり或程度放置時間が必要ではないか、つまり採集間隔を置く必要があるのではないかという事である。この点を明かにするために、2・3日、4・5日、8・9日、及び16・17日の4種の間隔で採集した結果を第9表に示した。

同時の採集では、2日放置のもの（第9表、A_2・A_4・A_6及びA_8）は4日放置のもの（第9表B_1・B_2・B_3及びB_4）に比すればエビ類・魚類その他何れも採集数が小さい。8・9日及び17日のものは4日のものと大差がない。

この原因については、柴漬の設置状態が安定することによるのか、又は少しでも生物が入つている方が更に多数の生物が入り易い状態であるのかは判らないが、この調査に関する限りでは良好な採集を得る放置日数（採集間隔）は4日間である。

但し、同じ日には4日間放置の柴漬の採集はないが、2日放置のものでもその後に採集した4日放置のものより採集数が大なるものがある（第9表、A_3及びA_5）。之等を2日後に採集した場合（A_4及びA_6）は同日採集の4日放置のものより著しく採集数が小さい。従つて柴漬に相当多くの生物が入つた場合には、之等は大部分は逸出するが全部が出てゆく訳ではなく、そのうち幾分かは柴漬の中に残るものと考えられる。従つて採集数合計では採集を短い放置日数で繰返し

た方がよい。

第9表　放置日数の異なる柴漬による採集生物数　（松柴漬2株宛使用）

柴漬記号		A							B							C							D						
採集月	採集日	採集記号	放置日数	シラエビ	その他エビ	魚類	カニ類	ウミセミ	その他	採集記号	放置日数	シラエビ	その他エビ	魚類	カニ類	ウミセミ	その他	採集記号	放置日数	シラエビ	その他エビ	魚類	カニ類	ウミセミ	その他	採集記号	放置日数	シラエビ	その他エビ	魚類	カニ類	ウミセミ	その他
9	8	A_1	2	1	2	1																									
9	11	A_2	3	4	2	2				B_1	5	10	2	6																	
合計		$A_{1\sim2}$	5	5	4	3																									
9	13	A_3	2	82	4	13		31	1																						
9	15	A_4	2	25		7		16		B_2	4	67	3	18	1	59		C_1	9	55	5	15	1	34							
合計		$A_{3\sim4}$	4	107	4	20		47	1	$B_{1\sim2}$	9	77	5	24	1	59															
合計		$A_{1\sim4}$	9	112	8	23		47	1																						
9	17	A_5	2	45	2	16		24																							
9	19	A_6	2	10	1	1		9	10	B_3	4	38		6		17	3														
合計		$A_{5\sim6}$	4	55	3	17		33	10																						
9	21	A_7	2	4	1			5	20																						
9	23	A_8	2	2	1	1		9	29	B_4	4	7	2	3	2	27	50	C_2	8	10		4	1	10	17	D_1	17	6	2	2	2	53	18
合計		$A_{7\sim8}$	4	6	2	1		14	49	$B_{3\sim4}$	8	45	2	9	2	44	53	$C_{1\sim2}$		65	5	19	2	44	17								
合計		$A_{5\sim8}$	8	61	5	18		47	59	$B_{1\sim4}$	17	122	7	3	3	103	53														
合計		$A_{1\sim8}$	17	173	13	41		94	60																						
10	1																	C_3	8	1					1	D_2	8				3		1
10	9	A_9	16	22	1			8		B_5	16	21			3	7	2	C_4	8	17		1	2	7	3	D_3	8	12		1		3	1
合計																		$C_{3\sim4}$	16	18		1	2	7	4	$D_{2\sim3}$	16	12		1	3	3	2

(III) 柴漬内部に於けるシラエビの個体数と大いさ及び成魚との関係

柴漬の材料及び内部の構造が異ると、それによつてシラエビの採集数及び大いさが変化することは前に述べた。更に採集数と大いさは別の条件によるものであろうと考えられた。然し之等は何れも材料及び内部構造の異る柴漬の比較に基くものであるから、同種柴漬で同時に採集した場合について検討しておく必要があると考えられる。このような例を第10表に示した。

11月12日の笹柴漬で最も多くシラエビが採集された株では285個体で、その時の頭胸甲長平均は

第10表　同種柴漬各株で採集されたシラエビと成魚

採集 月	採集 日	材料	シラエビ 個体数	C.L.*	S.R.**	♀ C.L.	♂ C.L.	成魚
11	5	笹	103	5.06	90.7	5.39	4.69	ハゼ 1
			80	5.70	110.5	6.40	5.06	ギンポ 1
			52	5.42	73.3	5.67	5.08	
			38	4.97	153.3	5.48	4.63	
11	5	楢	102	5.12	112.5	5.49	4.80	
			81	5.38	170.0	5.71	5.18	
			68	5.52	88.9	5.95	5.04	ギンポ 1
			59	4.98	156.5	5.48	4.66	
			58	5.25	152.2	5.82	4.88	
			7	4.93	600.0	5.25	4.88	
11	12	笹	285	5.78	79.2	6.34	5.08	
			246	5.00	105.0	5.27	4.74	シマイサキ 1
			210	5.19	128.3	5.73	4.77	
			185	5.27	105.6	5.76	4.81	
11	12	楢	261	5.07	139.4	5.55	4.72	
			221	5.19	108.5	5.64	4.77	
			80	5.34	135.3	5.91	4.91	
			48	5.05	152.6	5.30	4.89	
11	18	笹	432	5.93	66.8	6.49	5.09	ハゼ 4
			216	5.28	120.4	5.88	4.79	
			66	5.18	175.0	5.38	5.07	
			63	5.12	231.6	5.79	4.83	
11	18	楢	192	5.10	190.9	5.49	4.90	
			182	5.17	111.6	5.67	4.72	
			168	5.20	112.7	5.71	4.75	
			122	5.27	82.1	5.58	4.89	
12	6	笹	81	5.31	102.5	5.76	4.87	
			48	5.58	108.7	6.20	5.00	シマイサキ 1
			35	5.09	288.9	5.81	4.48	
			10	4.95	200.0	5.25	4.80	
12	15	笹	278	5.46	102.9	6.00	4.93	
			123	5.29	115.8	5.83	4.82	
			38	5.35	137.5	6.00	4.88	
			2	4.60	∞	—	4.60	
12	23	笹	76	5.28	111.1	5.74	4.86	
			44	4.78	175.0	5.07	4.61	
			35	5.48	118.8	5.95	5.08	
			1	6.05	0	6.05	—	

* 頭胸甲長平均 mm

** 性比、但し♀を100とした場合の♂

5.78mm，11月18日笹柴漬では432個体で5.93 mmであり、之等著しく採集数の大であつた2株では，他の株のシラエビより頭胸甲長も著しく大である。従つて密度が著しく大になり，柴漬の収容能力以上のシラエビが入つてくると密度効果が起つてくるのかも知れない。但しこのような著しい多採集の例が多くないので，この点は更に検討を要する。但しこの2株を除くと他の株では，採集数と大いさとの関係は区々であつて相関々係があるとは考えられない。

又第10表によると，成魚が入つている柴漬にはシラエビも多い。この事から，恐らくシラエビの入り易い柴漬には魚も入り易いのではないかと考えられる。又成魚の入つている柴漬のシラエビの頭胸甲長・性比等は他の柴漬のそれに比して異つた点はない。

第11表　柴漬で採集された成魚の胃内容

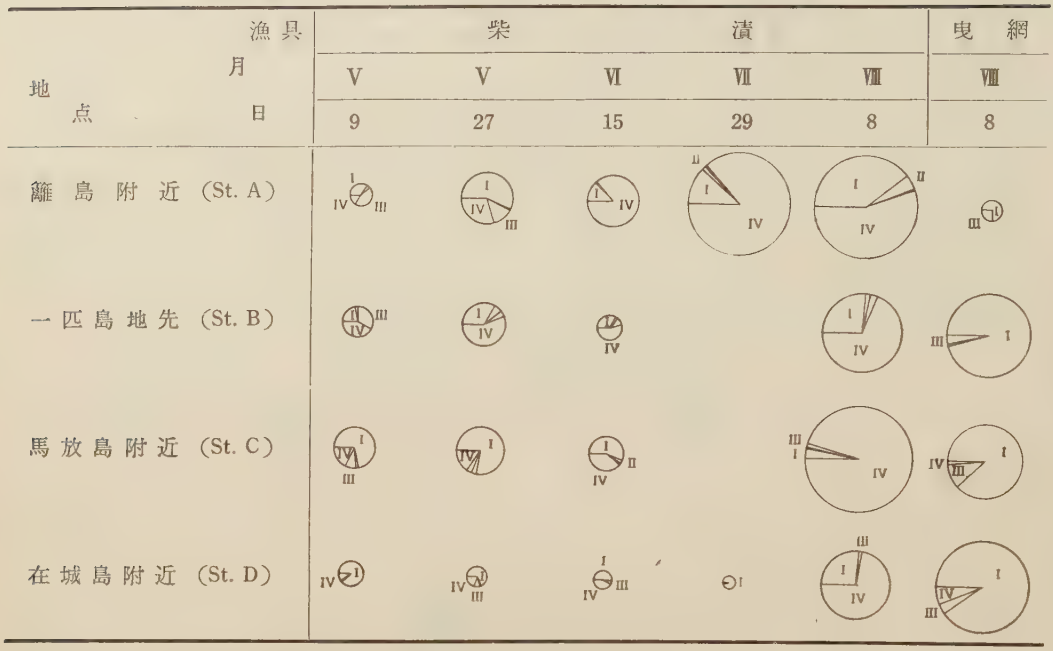
採集			魚名	数	体長範囲 cm	胃内容
年	月	日				
1954	11	4	アイナメ	1	16.1	シラエビ6、殆んど消化
		6	ハゼ	1	12.2	海藻残渣
			ギンポ	1	22.0	ウミセミ 10
1955	3	17	ギンポ	1	21.6	小型端脚類多数
1956	5	7～8	ギンポ	18	12.0～24.5	各個体共小型端脚類5～40、ギンポ（16.0cm）に消化ずみのエビらしきもの1個体、昼間は胃部に夜間は腸部に多し
			メバル	2	8.0～13.0	大はウミセミ1、シラエビ1、小は小型端脚類2
			ハゼ	2	9.5～11.5	多毛類多数
	5	15	ギンポ	4	12.5～20.5	小数の小型端脚類
			ハゼ	1	9.0	小型端脚類及び多毛類少数
	5	25	ギンポ	2	16.5～20.0	小型端脚類消化ずみ多数
	6	12	ギンポ	1	12.5	小型端脚類5
			ハゼ	1	12.0	殆んど空
			マアナゴ	1	20.5	端脚類1
			ウナギ	2	19.5～24.0	塊状をなして多毛類多数
	7	27	ハゼ	7	7.6～12.0	空胃又は端脚類多数
	8	14	ハゼ	6	10.0～35.5	何れも多数の端脚類

シラエビを追つて魚が入るならば，柴漬で得られた魚はエビを食していると考えられるので，時々魚の胃内容を調べた結果は第11表に示した。調査した範囲ではエビは極く少く，例えばシラエビ1を食したメバル，又はシラエビ6を食したアイナメがあつたが，之は何れも殆んど消化されたもので，之等の魚は何れも多数の生きたシラエビと同じ柴漬の中に入つていた。勿論，之等魚類の摂食時間も考慮に入れなければならないが，恐らく柴漬の中では殆んど摂食しないのではないかと考えられる。

(IV)　他の地点及び他の漁法（曳網）との比較，特にアマモの密度との関係について

松島湾内の他の地点と比較するため，1955年5月～8月籬島附近以外の3地点にも柴漬を設置し採集を行つた。又同年8月に各地点の附近で曳網調査を行つた。その結果を第4・5図に示し

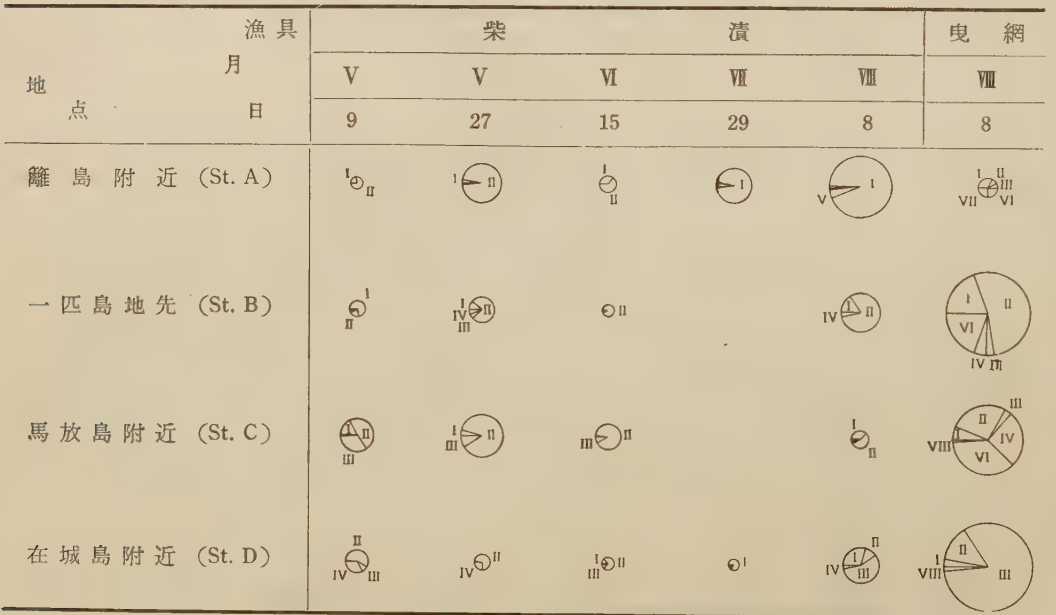
第4図　地点別柴漬及び曳網採集生物数及び組成（各1網又は1株平均）



I. エビ類　　II. カニ類　　III. 魚類　　IV. ウミセミ

（面積は各生物数に比例する如くしてある。）

第5図　地点別柴漬及び曳網採集によるエビ類の数及び組成（各1網又は1株平均）



I. シラエビ　　II. アシナガモエビ　　III. コシマガリモエビ　　IV. ツノモエビ
V. ムラサキエビの1種　　VI. エビヂャコ　　VII. テッポウエビ　　VIII. ヘラモエビ

（面積は採集数に比例する如くしてある。）

た。

第4図によると、各地点の柴漬に入る主な生物はエビ類とウミセミで、個体数は籬島附近が最も多く在城島附近が最も少い。又この傾向は5月27日と6月15日の両回では顕著であるが、5月9日及び8月8日には左程明かではない。6月中旬頃はアマモの最盛期であるから、柴漬がアマモと略々同様の機能を持つことを考えれば当然の結果と考えられる。即ちアマモ最盛期にはアマモが密生しているので、柴漬があつても魚やエビが柴漬に集つてくることが少いので、アマモの少い場所と多い場所との差がはつきり現れ、アマモが少くなると場所の差異が減少するものと考えられる。又これらの組成をみるとアマモ最盛期には藻場の方がエビ類多く他の生物は少いが、減衰期の8月には泥場の方がむしろ多くなつている。

曳網採集の結果は柴漬とは対照的であつて、柴漬採集の最も多い籬島附近で最小であり、柴漬では最小の在城島附近で最大であつた。組成は曳網では柴漬に比して稚魚が多くウミセミが少いという以外は特に注目すべき点はない。

第5図は前述の総生物のうちエビ類だけについて示した。総個体数がアマモ最盛期には各地点共少くなることは前述の総生物数の場合と同様である。但し個体数の各地点間の差異は前述の場合ほど明かではない。曳網採集が柴漬採集と対照的な変化を示すことはこの場合も同様である。

組成についてみると、アマモ最盛期の5月27日及び6月15日はモエビの1種アシナガモエビが各地点共多く、その前後はシラエビが多く、特に8月8日には泥場の籬島附近で最も多かつた。

曳網採集の組成は略々柴漬と同様であるが、柴漬では殆んど採集されない種がみられた。特にエビヂャコはアマモの少い処では数量も可成り大であつた。

要するに、アマモの密度と柴漬採集は密接な関係があり、アマモの密度を考慮に入れなければ柴漬採集だけによつて生物群衆を調査することは困難であると考えられる。

結　　語

松島湾のように殆んど湾全体にアマモが密生している処では、アマモの密度によつて生物の数量組成が変化し、アマモの盛衰に伴つて生物の分布も変化すると考えられる。

塩釜港の柴漬に入る生物の種類、及びアマモの盛衰と採集生物数との関係は、藻場と柴漬の機能の相似をよく示している。従つて柴漬採集を吟味することは藻場調査の手掛りになると考えられる。

柴漬の性質と採集生物数は密接な関係があり、柴漬が古くなると採集数が小となる。材料及び内部構造は生物数だけでなく、採集されるエビの大いさにも関係がある。

柴漬の採集時間も亦大いに採集数に影響する。魚類については明かにし得なかつたが、シラエビの採集数は潮時による変化が実に著しい。従つてこの場合は潮流からの避難場として用いられるものと考えられる。

注目すべきことは、柴漬で採集された成魚の胃中に柴漬に多数入つているエビが多くなかつたことである。 魚も亦、柴漬に入るものは柴漬を shelter として用い、その中では摂食しないのではないかと考えられる。

文　　献

池末　彌（1956） 有明海に於ける農薬被害の問題　水産科学 **5**（4）

京都大学海洋生物グループ（1956） 内湾における魚類の発生段階と生活場所　生物科学特集号

黒木宗尚（1954） オオバモクでウナギを捕る　藻類 **2**（1）

日下部台次郎（未発表） 瀬戸内海の稚魚について

前川兼佑・八柳健郎（1953） 山口県瀬戸内海産重要生物の生態学的研究　山口県内水試業績 **5**（1）

農商務省水産局（1952） 日本水産捕採誌　東京；水産社

岡田彌一郎・久保伊津男（1950） 霞浦産テナガエビの生態学的研究　水産動物の研究 I.　東京；日本出版協同 K.K.

大島泰雄（1952） 藻場と稚魚の繁殖保護について　水産学の概観　東京；日本学振

宇都宮正（1954） 藻場に出現する生物について　山口県内水試業績 **6**（1）

安田治三郎・高森茂樹・仁科種己（1953） アキアミ（*Acetes japonicvs Kishinouye*）の生態学的研究　内水研報告（4）

東北水研　研究報告
第10号
Nov. 1957

松島湾の水産資源に関する基礎研究※

第6報　松島湾のエビの生態　その1

佐　藤　重　勝

FUNDAMENTAL INVESTIGATION ON THE MARINE RESOURCES OF MATSUSHIMA BAY

VI. ECOLOGICAL STUDIES ON THE SHRIMPS IN MATSUSHIMA BAY (I)

Shigekatsu SATO

(1) The materials used in this study are the same as those of the previous report of this series.

(2) Of the "white shrimp", *Palaemon macrodactyrus* RATHBUM, which was caught abundantly in the catches by "shibazuke", some ecological studies were made. The results are as follows;

(A) In summer and autumn, the shrimps are caught more abundantly in shallower than in deeper places, while in spring this is contrary.

(B) The new age group appeared in July and the old age group disappeared in October. The life is thus supposed to be 14～16 months.

(C) In the deeper place the new age group appeared later and contained larger shrimps than those in the shallower place.

(D) In autumn and winter, the shrimps were scarcely recognized to grow, and their period of growth is during spring and summer, especially females grow rapidly.

(E) As compared between the male and female in number, more females were found in deeper places and more males in shallower places, at the beginning of the spawning season. But at the middle of the spawning season, the males decreased in number everywhere. In autumn and winter, the females were equal to or a little fewer than the males in number.

(F) The biological minimum size was 6.25 mm in carapace-length. Besides the above that belonged to the long life generation, there was observed only one shrimp belonging to the short life generation, this was extremely small in the adult stage.

※ 東北海区水産研究所業績　第106号

(G) The spawning season is supposed to be from May to September, although mature corpulent ovaries were observed in April.

(H) The majority of the shrimps may spawn at least two times a year. The latter spawning begins at the end of July. Lager shrimps spawn earlier than smaller ones in the two spawning periods.

(I) Egg sizes measured 0.86～1.07 mm × 0.71～0.88 mm in diameters.

(J) The number of eggs of the shrimp at the latter spawing period is 500 more than that of the equal size shrimp in the former spawning period, and this may be expressed by the exponential function of the carapace-length.

(K) The relations between body-and carapace-lengths are expressed by two linear equations classified by sexes. The equation of the female with mature corpulent ovaries conforms to the one with the immature ovaries.

(3) Of appearences and spawning periods of the other eight species, some informations are stated.

緒　　論

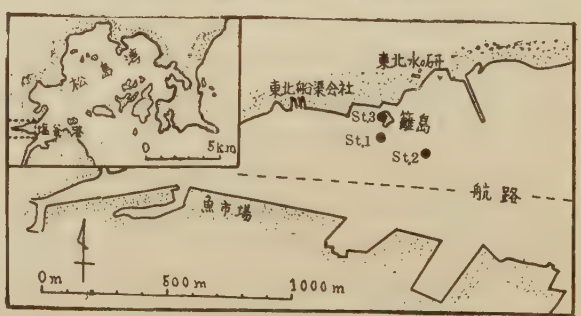
殆んど全湾にアマモが密生する松島湾には数種のエビが棲息し、そのうちあるものは柴漬漁業の対象にさえなつているが、湾内のエビに関する研究は極めて少い。塩釜港内に設置した柴漬によつて採集された生物については既に報告した（谷田・佐藤 1957）通りであるが、それらの生物のうち最も多く採集されたエビ類、特に周年多かつたシラエビについては生態学的研究が可能であつたので、他の少数得られたエビ類に関する若干の知見と併せて報告する。

尚エビ類の種の同定はすべて東京水産大学教授久保伊津男博士によるもので深甚な謝意を表する。又御校閲をいただいた本所増殖部長谷田専治博士に御礼申し上げる。

材　　料

調査に用いた材料は前報（谷田・佐藤 1957）と殆んど同じものである。即ち調査期間は1954年11月～1955年9月及び1956年4月～11月で、籬島附近に設置した柴漬によつて得られたものである。尚この間短期間ではあるが、籬島以外の3地点にも柴漬を設置し、又附近で曳網調査も行つたが、本報で主として扱うのは籬島附近で得られた材料である。設置地点は第1図に示す如く1954年・1955年の設置地点（第1図 St. 1）は1956年の設置地点（第1図 St. 2）に比すれば

第1図　籬島附近の柴漬設置地点



St. 1　1954年11月～1955年9月
St. 2　1956年4月～　　11月
St. 3　1954年11月～1955年1月

距岸距離も異り水深は前者は1.0～2.0mで後者は2.5mであつた。

このほかに水深比較のために1954年11月～1955年1月に籬島の岸の松に楢柴漬1株を吊して採取した(第1図 St. 3)。

又本報では頭胸甲長のほかに体長を測定したが、体長の測定部位は眼窩後縁より尾節末端までとした。

結　　果

(1) シラエビ *Palaemon macrodactylus* RATHBUM

このエビは柴漬で最も多く採集されたもので、生時は薄桃色であるが死ぬと急に白くなり、業者はこれをシラエビと呼んでいる。但し7月頃は雌は著しく紫色を帯び、この時期には体色で性が判別される程であり、死後も褪色しない。

(A) 採集数の月変化

柴漬1株平均採集数の月変化を第1表に示した。1955年は3月～6月が他の月に比して少ない

第1表　柴漬1株平均シラエビ月別採集数

月 / 年	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	101	57
1955	51	20	7	5	1	5	*46	97	150	—	—	—
1956	—	—	—	86	35	18	35	4	10	5	1	—

* 業者の柴漬を使用した。

第2表　調査期間中の籬島附近の水温・降水量・比重

項目	平均水温 (°C)											
月 / 年	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IX	XII
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.1	7.8
1955	3.4	4.8	6.9	11.4	16.7	21.8	26.4	27.5	22.5	—	—	—
1956	—	—	—	11.3	15.3	19.3	21.6	23.8	22.6	17.8	12.8	—
項目	平均降水量 (cc)											
月 / 年	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.6	1.8
1955	1.5	2.0	2.6	1.7	6.9	4.3	3.0	2.5	4.3	—	—	—
1956	—	—	—	2.4	4.0	7.9	10.4	4.4	6.9	2.1	4.3	—
項目	平均比重 (σ15°)											
月 / 年	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24.0	24.0
1955	24.0	23.6	23.0	22.9	20.7	19.3	19.0	22.0	23.1	—	—	—
1956	—	—	—	22.4	21.5	19.6	16.6	20.4	20.2	21.8	21.6	—

が1556年はむしろ多く、8月～11月は之と逆の変化を示している。

調査期間中の水温・降水量・比重を第2表に示した。両年では若干の相違が見られるが採集数に於て最も大きな差異を示した4月・5月は殆んど差異がない。

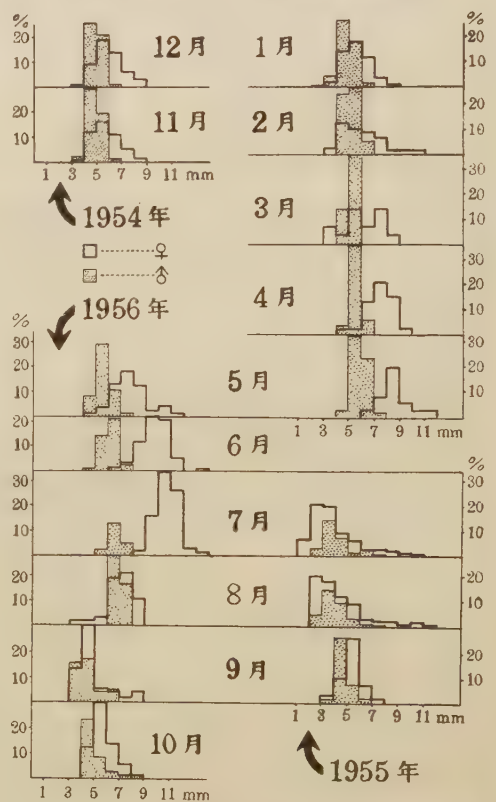
従つてこれら採集数の相違は主として両年の柴漬設置地点の差異に基くものと考えられる。岡田・久保（1950）によると、本種と同属の霞浦産テナガエビ *Palaemon nipponensis* は観測点によつて月変化が異り、6月～9月には湖岸に多く11月～1月には沖合に多く一般的には夏期最も少なく秋期最も多い。本調査に於ても、地域的には夏期岸に多く秋期沖に多い点は同様に認められるが、調査地点が少ないため一般的な月変化については更に調査を進めなければ結論することは出来ない。

（B） 頭胸甲長組成の月変化

月別の頭胸甲長平均及び組成を第2図及び第3表に示した。

1954年11月から1955年9月の調査結果では、5月に産卵された個体が1月に新年令群となつて出現し、旧年令群のものは極く少数となる。7月、8月には之等新年令群は頭胸甲長1.5～1.6mmであるが9月迄に幾分成長して雄のモード4.0～4.9mm雌のモード5.0～5.9mmとなり翌年1月頃迄は殆んど成長しない。3月・4月から急速に成長して5月には雄のモード5.0～5.9mm雌のモード8.0～8.9mmとなる。8月迄之等個体は少数ながら見られたが、9月には殆んど見られなくなる。

第2図　シラエビの月別頭胸甲長組成



各月の調査総数を100%とした。採集日等は第3表に示してある。

1956年の結果では上述と若干異つて新年令群のあらわれるのは9月である。そのため7月・8月の頭胸甲長を比較すれば著しい差異がみうけられる。5月には雌雄のモードは両年が一致するが1956年の6月・7月では雌雄共に更に成長を続け7月には雌のモード10.0～10.9mm、雄のモード6.0～6.9mmとなる。8月には雌は幾分之より小型のものがあらわれるが、新年令群も亦少数である。9月では両年の差は少くなり、1956年の10月と1954年の11月では雌雄のモードは殆んど一致する。

両年の5月及び10月・11月の相似と6月～8月の変化を考えると、之等は年度の差異よりもむしろ設置地点の水深の差に基くと考える方が妥当ではないかと考えられる。即ち6月～8月には

第3表　各月におけるシラエビの平均頭胸甲長（mm）

採集			調査個体数			平均頭胸甲長	
年	月	日	総数	♀	♂	♀	♂
1954	11	12	1537	729	808	5.75	4.82
	12	15	570	294	276	5.91	4.90
1955	1	17	455	227	228	5.54	4.75
	2	18	79	35	44	5.95	5.09
	3	17	28	14	14	5.89	5.12
	4	30	53	29	24	7.45	5.53
	5	27	77	31	46	8.23	5.82
	7	29	232	166	66	3.99	3.99
	8	10	452	306	146	4.27	4.77
	9	6	138	87	51	5.77	4.73
1956	5	15	174	92	84	7.62	5.55
	6	15	155	99	56	9.62	6.09
	7	11	488	393	95	10.63	6.56
	8	14	68	38	30	10.91	6.77
	9	13	82	48	34	5.03	4.41
	10	9	72	45	27	5.68	5.14

第4表　水深の異なる地点の柴漬によつて採集されたシラエビの大いさ

地点			St. 1						St. 3					
年	月	日	柴漬株数	個体数		頭胸甲長			柴漬株数	個体数		頭胸甲長		
				総数	株平均	平均	♀	♂		総数	株平均	平均	♀	♂
1954	11	12	4	610	153	5.14	5.83	4.85	1	85	85	5.24	5.53	4.79
		18	4	664	166	5.18	6.49	4.96	1	169	169	5.54	5.94	4.94
	12	6	2	62	31	5.21	5.89	4.89	1	130	130	4.60	4.66	4.56
		15	2	155	78	5.51	5.95	4.89	1	6	6	4.60	5.25	4.27
		23	2	44	22	4.73	5.64	4.83	1	15	15	5.23	5.45	4.90
1955	1	4	1	11	11	4.76	5.69	4.89	1	8	8	5.04	5.20	4.88

（註）　St. 3 の柴漬は楢、従つて St. 1 も楢柴漬の分をあげた。頭胸甲長は mm。

大型蝦（特に雌）は次第に深所に移動し新年令群も成長につれて浅所から次第に深所に拡がるものと考えられる。とすれば前述した両年の採集数の差異も恐らくこの事により生じたものと考えられる。同様の例は1954年11月～1955年１月に籬島の松から直接柴漬を吊した場合（第1図 St. 3）についても認められる。即ち第４表に示す如く、この場合も St. 1は St. 3に比し、雌の頭胸甲長平均は著しく大である。従つて成長につれて浅所から深所に拡がるという仮定は無理がないと考えられる。

両年の結果からこの蝦の成長を考えると、雌は８月～10月及び翌年３月～７月に著しく成長し10月～３月は殆んど成長しない。雄も略々同様であるが生長期は８月・９月及び５月・６月であり、生長停止の期間は９月～５月の長期に及ぶ。この間雌が抱卵することを併せ考えると、雌の成長は極めて著しい。尚孵化後若干成長して冬眠期に入り、抱卵期直前に急激に成長するものとしては安田（1956）によるとアカエビ・ヌカエビ・サルエビ・ホソモエビがある。

旧年令群は10月・11月以降はみられなくなる。若し之等がそのまゝ死滅するものとすれば、之等の寿命は略々14～16月となる。岡田・久保（1950）によると霞浦産テナガエビも略々同様の寿

命をもつている。

(C) 性　　比

頭胸甲長組成の月変化及び性巣の解剖所見では、この蝦には性転換の事実は認められない。調査期間中の性比を第5表に示した。

1954年11月から1955年3月までは雄がやゝ多い。岡田・久保（1950）によると霞浦産テナガエビでは産卵期以外の性比は100以下で雌が多い。但し同報の各月、各観測点に於ける性別漁獲数によると最も浅い観測点1では12月は等しく1月は稍雄が多くなつている。本調査に於ても同時期に籬島に接岸し（St. 3）設置した柴漬のものは地先（St. 1）のものと相当性比が異つている（第1図参照）。従つて設置地点の水深によつても異ると思われるが、この時期には性比が、雌雄略々等しいか、或は雄がやや多い程度であつたと考えられる。

産卵初期5月には1955年は雄多く、1956年は雄が少い。之は水深の差によるものと考えられる。浅所で雄多く、深所で雌が多くなることは霞浦産テナガエビでは、鴨脚（1912）によるとこのような事が起ると云われ、岡田・久保（1950）によると認められなかつた。

第5表　シラエビの性比

年	月	日	調査個体総数	雌	雄	雌を100とした性比	総数に対する雌百分率
1954	11	4	434	244	190	77.9	43.8
		5	648	298	350	117.4	54.0
		6	62	21	41	195.2	66.1
		12	1536	729	808	110.7	52.5
		18	1512	698	814	116.6	53.8
		27	257	120	137	114.2	53.3
	12	6	232	102	130	127.5	56.0
		15	570	276	294	106.5	51.6
		23	200	83	117	141.0	58.5
1955	1	4	107	44	63	143.2	58.9
		17	455	227	228	100.4	50.1
	2	4	120	56	64	114.3	53.3
		18	79	35	44	125.7	55.7
	3	5	41	16	25	156.3	61.0
		17	28	14	14	100.0	50.0
	4	30	52	28	24	85.7	46.2
	5	9	16	5	11	220.0	68.8
		27	77	31	46	148.4	59.7
	7	29	232	166	66	39.8	28.4
	8	10	452	306	146	47.7	32.3
	9	6	138	87	51	58.6	37.2
1956	5	7～8	194	104	90	86.3	46.4
		15	174	92	82	89.1	47.1
		26	179	96	83	86.5	46.4
	6	1～2	94	55	39	70.9	41.5
		15	155	99	56	56.6	36.1
		27	280	179	101	59.1	36.1
	7	11	488	393	95	24.2	19.5
		27	381	231	150	64.9	39.4
	8	14	68	38	30	78.9	44.1
	9	8	52	31	21	67.7	40.4
		11	26	15	11	73.3	42.3
		13	82	48	34	70.8	41.5
		15	146	85	61	71.8	41.8
		17	45	22	23	104.5	51.1
		19	48	39	9	23.1	18.8
		23	25	16	9	56.3	36.0
	10	9	72	45	27	60.0	37.5
	11	5	18	10	8	80.0	44.4

産卵盛期になると1955年・1956年共性比は低くなる。この事は霞浦産テナガエビの前述2報告とも一致する。又産卵初期に高くなり盛期に著しく低くなることは高木（1946）によるとスヂエビの場合も同様である。

頭胸甲長別性比を第6表に示した。この蝦は雌が著しく大型であるので、頭胸甲長8.0mm以上は常に雌が多い。又3.0mm以下では孵化後の7月～9月を除けば常に雄が多い。5.5～7.9mmでは最も性比の変化が甚しく、10月～4月は雌、5月は雄が多い。又7月・8月は1955年では雌1956年は雄が多い。之は頭胸甲長組成の項で述べた大型蝦の沖合移動の結果と考えられる。

(D) 産　　卵

(a) 生物学的最小形

抱卵蝦の頭胸甲長は第7表に示す如く6.25mmが最小であつた。従つて仮に抱卵蝦の最小を生

第6表　シラエビの頭胸甲長別個体数及び性比

頭胸甲長(mm)			<3.0			3.0～5.4			5.5～7.9			8.0～10.9			>10.9		
年	月	日	雌	雄	比	雌	雄	比	雌	雄	比	雌	雄	比	雌	雄	比
1954	11	4	0	0		85	163	134.9	154	27	17.5	5	0		0	0	
		5	1	1		148	297	200.1	140	51	36.4	9	1	11.1	0	0	
		6	0	0		10	31	310.0	9	10	111.1	1	0		0	0	
		12	0	1		364	715	195.9	334	92	27.5	28	0		3	0	
		18	1	0		273	625	228.9	386	118	30.6	35	0		3	0	
		27	0	0		51	119	233.3	63	18	28.6	7	0		0	0	
	12	6	0	0		45	112	248.9	55	18	32.7	2	0		0	0	
		15	0	0		125	239	191.2	150	37	24.7	19	0		0	0	
		23	0	0		42	99	235.7	40	18	45.0	1	0		0	0	
1955	1	4	0	0		24	55	229.2	18	8	44.4	2	0		0	0	
		17	1	1		121	203	167.7	102	23	22.5	2	0		1	0	
	2	4	0	0		31	62	200.0	24	3	12.5	1	0		0	0	
		18	0	0		15	33	220.0	17	11	64.7	3	0		0	0	
	3	5	0	0		9	9	100.0	14	7	50.0	1	0		1	0	
		17	0	0		5	9	180.0	8	5	62.5	1	0		0	0	
	4	30	0	0		0	11	∞	20	13	65.0	9	0		0	0	
	5	9	0	0		0	3	∞	5	8	160.0	0	0		0	0	
		27	0	0		0	15	∞	13	31	238.5	17	0		1	0	
	7	29	62	7	11.3	77	53	68.8	17	6	35.3	10	0		0	0	
	8	10	90	21	23.3	156	119	76.3	40	5	12.5	16	0		4	0	
	9	6	0	0		43	44	102.3	41	7	17.1	3	0		0	0	
1956	5	7～8	0	0		4	10	250.0	67	79	114.5	42	1		1	0	
		15	0	0		1	13	1300.0	64	68	106.3	27	0		0	0	
		26	0	0		0	6	∞	38	76	200.0	55	1	1.8	3	0	
	6	1～2	0	0		1	1		14	35	350.0	35	3	8.6	7	0	0.0
		15	0	0		0	0		6	53	883.3	82	3	3.7	11	0	0.0
		27	0	0		0	0		3	100	3333.3	113	1	0.9	63	0	0.0
	7	11	0	0		0	0		0	92	∞	243	3	1.2	160	0	0.0
		27	1	0		1	1		0	141	∞	121	8	6.6	109	0	0.0
	8	14	0	0		1	0		0	22	∞	11	8	72.7	26	0	0.0
	9	8	0	0		19	3	15.8	9	13	144.4	3	0		0	0	
		11	0	0		6	4	66.6	4	5	125.0	2	2		3	0	
		13	0	0		37	27	73.0	7	7	100.0	0	0		4	0	
		15	0	0		58	52	89.7	17	8	47.0	4	1		5	0	
		17	0	0		14	15	107.1	4	7	175.0	2	1		2	0	
		19	0	0		19	7	36.9	11	0	0.0	1	0		0	0	
		23	0	0		5	3	60.0	10	6	60.0	1	0		0	0	
	10	9	0	0		17	21	123.5	28	5	17.9	0	2		0	0	
	11	5	0	0		2	5	250.0	6	2	33.3	2	1		0	0	

第7表　抱卵シラエビの出現率

調査			抱卵個体				雌*		出現率 (100A/B)
年	月	日	個体数 (A)	頭胸甲長 (mm) 最大	最小	平均	個体数 (B)	頭胸甲長平均 (mm)	
1955	5	27	6	11.25	8.45	9.86	31	8.23	19.4
	6	18	5	11.05	9.45	10.13	7	10.05	71.4
	7	29	16	10.85	6.65	8.48	21	8.08	76.2
	8	10	26	11.45	6.45	9.10	37	8.48	70.3
	9	6	2	6.45	6.25	6.35	30	7.02	6.7
1956	5	15	2	11.70	8.70	10.20	85	7.81	2.4
		26	11	12.20	8.20	10.43	96	8.63	11.5
	6	15	47	13.20	7.70	10.05	99	9.62	77.8
		27	154	11.70	6.25	8.65	178	8.58	86.5
	7	11	380	13.20	8.20	10.59	393	10.63	96.7
		27	220	12.20	8.20	10.52	231	10.46	95.2
	8	14	36	12.70	8.70	11.14	37	11.12	97.3
	9	15	2	12.20	11.20	11.70	10	9.20	20.0

* 但し生物学的最小形以上の個体、即ち頭胸甲長6.25mm以上の個体。

物学的最小形とすれば頭胸甲長6.25mm（体長にして約24mm）となる。

安田（1957）によると多くの蝦は二世代からなると云われる。この蝦では、当才蝦の抱卵個体（所謂短期世代蝦）と思われるものは1956年7月27日に僅か1個体のみ採集された。これは頭胸甲長2.2mm 体長9.1mm であつた。但し僅か1個体であるからこの個体は抱卵率その他の計算から除外して扱うことにする。

（b） 抱 卵 期

第7表に示されるように、抱卵蝦の出現期は5月～9月であつた。尤も4月には既に卵巣が充実膨大した個体が見られるが、5月になつて初めて抱卵個体があらわれる。

6月・7月には生物学的最小形以上の雌全数に対する抱卵雌の割合は次第に増加する。1955年と1956年では幾分後者が高いが之は前述の水深に基く移動によると考えられる。松井・和井内（1937）によるとスヂエビは浅部では抱卵蝦が多いと云つているが、本調査でも産卵初期は同様である。但し後期は深部が多い。

抱卵雌の頭胸甲長は全雌のそれよりも抱卵初期は大であり、盛期には略々等しくなる。換言すれば大なる蝦から抱卵が初まると考えられる。

第8表 抱卵熟度別シラエビ出現数及び出現率*

年	月	日	非 抱 卵	未発眼卵抱卵	発眼卵抱卵	放卵直後
1956	5	15	83 (97.6)	2 (2.4)		
		26	86 (89.6)	10 (10.4)		
	6	15	52 (52.5)	30 (30.3)	17 (17.2)	
		27	24 (13.5)	103 (57.9)	51 (28.7)	
	7	11	13 (3.3)	186 (37.3)	176 (44.8)	18(4.6)
		27	15 (5.2)	112 (48.5)	98 (42.7)	9(3.9)
	8	14	1 (2.7)	18 (46.8)	14 (37.8)	4(10.8)
	9	15	13 (86.7)		2 (13.3)	

* （ ）は出現率で、生物学的最小形（頭胸甲長以上 6.25mm）の雌数に対する百分率をもつて示してある。

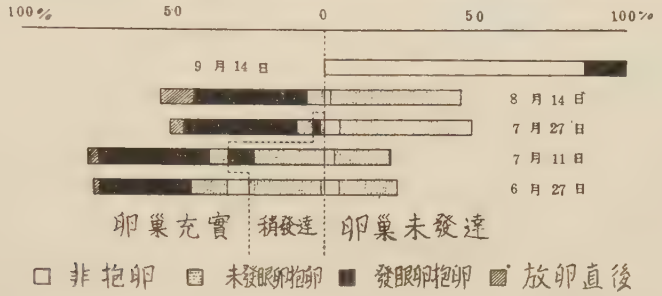
（c） 産卵回数

抱卵率の高かつた1956年の調査における抱卵された卵の熟度別の出現数及び出現率を第8表に示した。初期5月15日には抱卵しない個体が大部分であるが、次第に未発眼卵を有する個体が多くなり、少数乍ら発眼卵を有する個体もあらわれる。7月11日には発眼卵の方が未発眼卵の方より多くなり少数乍ら放卵後の個体もあらわれる。この時既に抱卵していない蝦は極く少数であるから、7月27日及び8月14日には発眼卵、及び放卵後のものが増加して未発眼卵抱卵個体は減少するはづであるが、むしろ増加している。この原因としては浅所からの未発眼卵個体の追加、深所への発眼卵個体の逸出も考えられるが、主な原因は次の事によると考えられる。

岡田・久保（1950）によると霞浦産テナガエビは1産卵期中に約半数は少くとも2回産卵を行うと報告している。本調査では抱卵中の個体の卵巣が充実膨大し頭胸甲を透して黄赤色の卵巣がみられた。これら卵及び卵巣の熟度別の出現率を第3図に示した。図によると既に殆んど全部が抱卵している7月11日には卵巣全く未発達のものは約20%で他は少くとも2回目の抱卵の可能性があり、4.5%は卵巣よく発達しており略々確実にもう一度抱卵するものと考えられる。又7月

11日にはには約30%のものが卵巣稍発達しているがこれらは漸次減少し8月14日には全くみられない。7月11日と7月27日の卵巣発達個体の差は恐らく7月27日には卵巣未発達の未発眼卵抱卵個体となつてあらわれたと考えれば妥当である。之等の結果、未発眼卵個体の出現率は7月27日には減少せず却つて増加したものと考えられる。

第3図　シラエビの腹部に附着(抱卵)された卵の熟度及び卵巣の発達度合別の出現率



倘抱卵中の卵は殆んど同一の熟度であり、極度に進んだ発眼卵と未発眼卵が混在していることはなかつた。従つて卵が随時卵巣から補給され抱卵されることは考えられず、抱卵は段階的に行われるものと考えられる。

以上の事からこの蝦も同一産卵期中少くとも2度産卵するものと考えられる。後期の産卵に移るのはこの調査では7月中旬ごろであつたと考えられる。

又第3図によれば、腹部に附着(抱卵)された卵の熟度と卵巣の発達の度合は略々正比例しているように考えられる。即ち放卵直後の個体は総て卵巣充実しており、発眼卵をもつ個体は大部分卵巣充実し、一部が稍発達している。未発眼卵をもつ個体は卵巣充実しているものが少い。従つて卵巣の発達度合から後期の産卵が前期と同様頭胸甲長大なるものから始まるかどうかを推定する事が出来ると考えられる。前期産卵から後期産卵に移る時期の測定結果を述べると、抱卵個体のうち卵巣未発達個体と卵巣充実個体の頭胸甲長平均は7月11日には10.54mm (73個体)と10.63mm (182個体)で後者がやゝ大型であり、7月27日には10.43mm (102個体)と10.44mm (109個体)で略々等しい。岡田・久保・高木 (1947) によるとイセエビは二番子では卵の発生進度と体長とは逆相関するが、この蝦ではどちらかと云えばむしろ大型のものから第2回目の抱卵も行われると考えられる。

第9表　卵の大いさ (各10個平均)

年	月	日	測定エビ 頭胸甲長 mm	測定エビ 体長 mm	熟度	卵径 長径	卵径 短径
1956	7	11	12.5	43.5	未発眼	0.86	0.71
			12.4	44.9	同上	0.93	0.76
			12.4	45.9	発眼	1.03	0.83
	7	27	12.5	43.6	同上	1.02	0.84
			11.7	43.3	同上	0.95	0.81
			9.6	35.6	同上	1.07	0.80
			9.4	36.8	同上	0.91	0.88
			9.3	33.7	同上	0.91	0.79

(d)　卵の大いさ

卵は抱卵初期は緑色で次第に暗褐色になる。卵の大いさは第9表に示すように、熟度の進むに伴つて僅かは増大する。特にこの場合長径よりも短径が大になる如くで、つまり球形に近くなる1回目と2回目及び頭胸甲長との関係は調査個体が少ないので明かではない。卵の大いさは調査された限りでは長径 0.86～1.07、短径 0.71～0.88mm であつた。

(e) 抱 卵 数

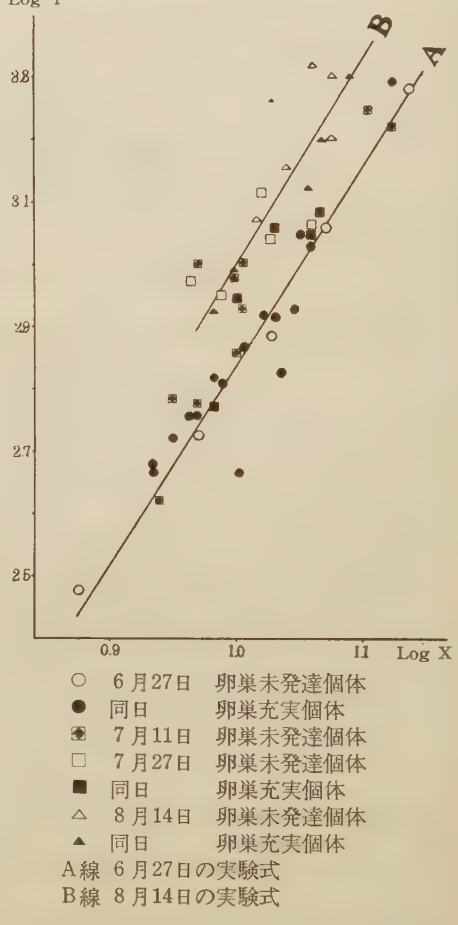
卵は大部分が第1～第3腹肢に附着し、第4腹肢にはその基部に少数のみで第5腹肢には全く附着しない。之等の卵は密着しており従つて採集時又は測定時に脱落することは稀であると考えられる。

抱卵数は全数を数えた。その結果は第4図に示したように頭胸甲長と抱卵数の双方の対数をとると略々直線上に並ぶ。然し変異の幅は著しく大である。又6月27日と8月14日を比較すると明かに異るように考えられる。6月27日だけについてみると、2・3の例外はあるが変異の幅は極く小となる。この時の実験式を求めれば

$$y = 0.438\,x^{3.2} \qquad \text{(第4図 A)}$$

但し、yは抱卵数、xは頭胸甲長 mm となり、Huxley の相対成長の式となる。井上 (1952) によるとスヂエビモドキの卵数は本調査と同様に体長の指数函数であらわされる。又井上 (1949 及び 1952) によると体重と正比例する。体重が体長の指数函数であらわされることは井上 (1949及び1952) 久保 (1951) 安田 (1949) 安田 その他 (1953) 八柳・前川 (1954) により各種のエビで知られている。この蝦の卵数も体重と正比例するものと考えられる。

第4図　シラエビの頭胸甲長 (Y mm) と抱卵数 (X) との関係



次に注目すべきは、7月11日の調査個体では10個体のうち7個体、7月27日では10個体中4個体が、上述の実験式の線に近いが、8月14日には殆んど全部がこの線をはなれる。このような季節的な抱卵数の増大は恐らくこの蝦が少くとも2回産卵することによると考えられる。即ち前期は後期より小である。例えば頭胸甲 10mm 長のもので約500位小である。又、卵巣の発達、未発達の別についてみても、6月27日及び8月14日では差がないようであるが (7月11日未発達個体の調査がなかつた) 7月27日では卵巣未熟の個体が抱卵数が多い。この時期が (抱卵率が減少し

ないで）再び卵巣未発達個体が増加する、即ち後期産卵に移る時であることを考えると、第2回目の産卵個体ではないかと考えられる。

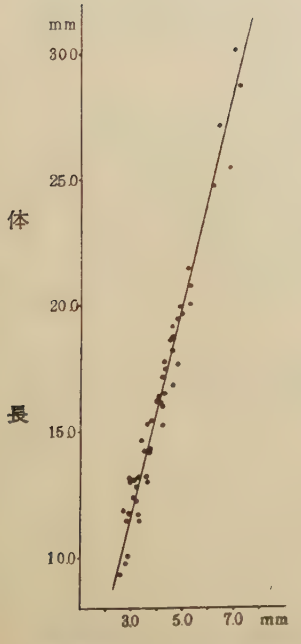
後期の抱卵蝦は前期との分離判定が困難であるから、仮に8月14日の個体は凡て後期として実験式を求めると

$$y = 0.159\,x^{3.8} \qquad \text{（第4図B）}$$

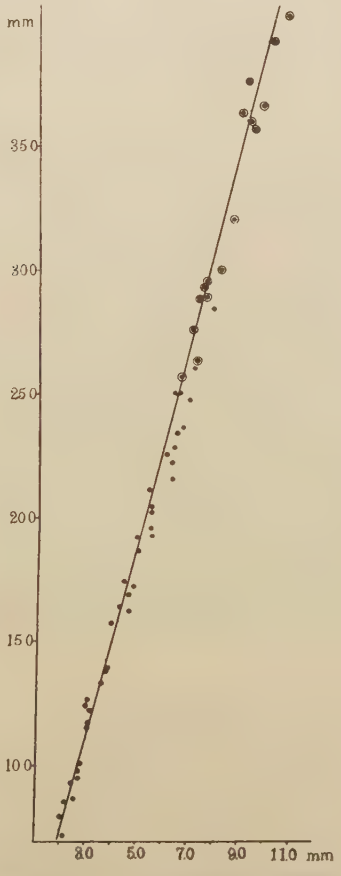
となる。

之等2式が前期及び後期の抱卵式であり、之等2式が成立すること、つまり前期と後期では抱卵数が異るという仮定は無理がないように思われる。岡田・久保（1950）によると霞浦産テナガエビでは抱卵数は体長の一次式であらわされ、体長大なるものと小なるものでは実験式が異る。然してこの場合も前期（6月7月）と後期（8月）の抱卵数が異るという仮定をすれば本調査と同様の結果になると考えられる。

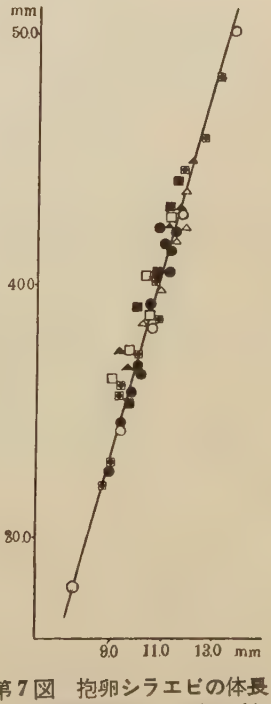
但し、之等前期及び後期産卵が同じ蝦による第1回目と第2回目の産卵に相当するかどうかは甚だ疑わしい。もしそうだとすると、8月14日採集のものには卵巣充実個体が含まれているが、



第5図　シラエビ雄の体長と頭胸甲長の関係



第6図　シラエビ雌の体長と頭胸甲長の関係　◉—抱卵個体



第7図　抱卵シラエビの体長と頭胸甲長との関係（記号は第4図と同じ）

之等は第3回の産卵をすることになる。猪野（1950）によるとイセエビは一番子と二番子の産卵数が異り、二番子は一番子より少数であつた。久保・服部（1947）によると、イセエビは本調査の蝦とは逆に雄の体長増加率が雌に比して大であるが、本調査の蝦で第2回目の抱卵数が大なることと考え併せると実に興味深い現象であると考えられる。然し或は前年の後期産卵された蝦が8月14日の抱卵個体になつたかも知れない。

（f） 頭胸甲長と体長との関係

本調査では測定部位に頭胸甲長を選んだ。之は主として測定の容易であることによるが、体長との関係を示すと第5・6図の如くなる。即ち雄では第5図に示されるように

$$y = 4.25x - 1.15$$

こゝにyは体長（mm）、xは頭胸甲長（mm）となる。（1956年7月29日、50個体測定）

又雌では第6図に示されるように

$$y = 3.7x + 0.3$$

となる。（1956年7月29日、56個体測定）

尚卵巣が充実膨大した際には膨れるため幾分頭胸甲長が短くなる如くみられたので、抱卵数測定の個体の頭胸甲長と体長の関係を第7図に示した。その結果は非抱卵蝦に比して特に差異を認めなかつた。

（2） その他の蝦について

（A） エビジャコ *Cragc affinis* (de HAAN)

柴漬では全調査を通じて1956年8月僅か1個体のみ採集された。但し曳網では籬島・馬放島・一匹島において各相当数採集された。

（B） シラタエビ *Palaemon orientis* HOLTHIUS

1956年7月末に僅か2個体採集された。之は抱卵個体でうち1個体の卵は発眼していた。

（C） ヘラモエビ *Latreutes laminirostris* ORTMANN

1955・1956年とも5月に1個体づつ採集された。但し曳網では馬放島、城島附近で4個体づつ採集されたが、この時の雌は全部抱卵していた。

（D） コシマガリモエビ *Heptacarpus alcimede* (de HAAN)

この蝦は5月～7月に採集され、特に5月には極く小型のものが相当数採集されたが、抱卵個体はみられなかつた。

（E） ツノモエビ *H. pandaloides* (STIMPSON)

極く少数採集された。1955年5月に抱卵個体1を得た。

（F） アシナガモエビ *H. rectirostris* (STIMPSON)

シラエビに次いで採集数多く、抱卵個体も12月～5月の長期に亙つて採集されたが、多数の幼体が出現したのは5月であつた。

（G） ムラサキエビの1種 *Athanus* sp.

1955年では5月のみ出現したが、1956年には全調査期間に少数乍ら出現した。抱卵個体が得られたのは7月・8月であつた。

（H） テッポウエビ *Crangon brebicristatus* (de HAAN)

少数採集されたが抱卵個体は7月・8月に得られた。

摘　　要

1. 1954年11月～1955年9月及び1956年4月～11月に塩釜港籬島附近に柴漬を設置し、それに入つたエビ類の生態学的研究を行つた。
2. 最も多く採集されたシラエビ *Palaemon macrodactylus* については次の事が明かにされた。
   （A） 採集数は夏秋は浅所多く春深所多い。
   （B） 新年令群は7月に現れ、旧年令群は10月以降は出現しない。従つて寿命は14～16月と考えられる。
   （C） 深所では浅所に比して新年令群の出現が遅く、又大型個体が多い。
   （D） 秋冬は冬眠期で殆んど生長せず、成長期は春夏でこの期間の雌の成長は特に著しい。
   （E） 性比は秋冬は雌雄略々等しいか、又は雄稍多く、産卵初期には深所は雌多く浅所雄多いが産卵盛期にはどちらも雄が少くなる。
   （F） 生物学的最小形は頭胸甲長6.25mmであつた。短期世代蝦は唯1個体だけ発見された。
   （G） 抱卵蝦の出現は5月～9月であつた。但し卵巣充実した個体は4月から見出された。
   （H） このエビは大部分が少くとも2度は産卵する。後期産卵は7月中旬ごろ始まるものと考えられる。抱卵は前期、後期ともに大型個体から始まる。
   （I） 卵の大いさは長径0.86～1.07、短径0.71～0.88mmであつた。
   （J） 抱卵数は後期のものは前期に比し同長のエビで約500粒多く、頭胸甲長の指数函数であらわされる。
   （K） 体長と頭胸甲長との関係は一次式であらわされる。卵巣が充実膨大した際もこの関係は変らない。
3. シラエビ以外のエビ8種について採集月及び産卵期について若干の知見を記した。

文　　献

鴨脚七郎（1912） 霞浦のエビについて 親汐（7）

猪野 峻（1947） イセエビ（*Panulirus japonicus* de Haan）の産卵数と産卵回数について 日水会誌 **13**（1）

猪野 峻（1950） イセエビ *Panulirus japonicus*（V. Siebold）の産卵回数に関する観察 日水会誌 **15**（1）

井上　明（1947）　スヂエビモドキ *Leander serrifera Stimpson* の生態について　日水会誌　**15**（7）
久保伊津男・服部茂昌（1947）　イセエビの標識放流成績に関する考察特に成長及び脱皮回数について　日水会誌　**13**（2）
久保伊津男（1950）　テナガエビの生態学的研究　霞浦産テナガエビの地域性について　日水会誌　**15**（10）
久保伊津男（1951）　ホッカイエビの生態学的研究　日水会誌　**16**（2）
松井　魁・和井内貞一郎（1937）　十和田湖におけるスヂエビの生態学的研究　陸水学雑誌　**7**（1）
岡田彌一郎・久保伊津男・高木和徳（1947）　イセエビの研究 Ⅲ　イセエビの産卵回数に就いて　動雑　**57**（3）
高木和徳（1946）　ヌカエビの生態学的研究　生物　**1**（5·6）
安田治三郎（1956）　内湾における蝦類の資源生物学的研究（Ⅱ）　各論　各種類の生態に関する研究　内水研報告（9）
安田治三郎（1957）　内湾における蝦類の資源生物学的研究　水産学集成　東京；東京大学出版会
八柳健郎・松清恵一（1951）　秋季及び春季に於けるアカエビ、トラエビ、サルエビの大いさ 性比及び頭胸甲長と体長の関係　日水会誌　**16**（12）
八柳健郎・前川兼佑（1954）　山口県瀬戸内海に於ける重要生物の生態学的研究　第7報　瀬戸内海シバエビ *Metapenaeus jayneri*（Miero）の生態学的研究　内海水試研究業績　**6**（1）

東北水研　研究報告
第10号
Nov. 1957

養殖海苔の色沢変化に関する研究※

第4報　藻体吸収曲線の変化

佐　野　　孝

STUDIES ON THE COLOR CHANGE OF CULTURED LAVERS. IV. ON THE ABSORPTION SPECTRA OF THE THALLUS.

By
Takashi SANO

The author studied the relation between the absorption spectra directly estimated on the sandwiched thallus between two sheets of flat glass and their contents of chlorophyll, carotenoid and other hydrochromes extracted from the thallus.

(1) The absorption values of the thallus at 440 mμ corresponds mainly to the contents of chlorophyll, carotenoids and those at 565 mμ represent principally the phycoerythrin content.

(2) From the ratios of the two values at 440 mμ and 565 mμ of the thallus, the color change of the cultured lavers was discussed to have been influenced by the environmental conditions of the cultural ground, and the qualities of the processed lavers.

(3) The absorption values of the thallus tend to lower gradually since December at the cultural ground of Hamadaura in Matsushima Bay. But, those at Iwanoko in Matsukawaura were lowest especially since November.

(4) The absorption values of the thallus tend to lower when illuminated with ultraviolet rays for three hours in the aquarium vat.

(5) The absorption values of the thallus tend to lower when the wet thallus was stood for 48 hours in the air and the dried ones for half a year in the dessicator.

ま　え　が　き

筆者は前報[1~3]に於て、養殖海苔の脂溶性色素及び水溶性色素量について報告した。

尾形等[4~6] (1954～56) は1層の細胞から出来ているアサクサノリ・ヒトエグサについて藻体吸収曲線を測定し汚水に依る細胞の被害度を判定している。

筆者は尾形等に準じた方法により、藻体吸収曲線と脂溶性色素及び水溶性色素との関係につい

※　東北海区水産研究所業績　第107号

て検討し、それら吸収曲線の変化と関連して若干の実験を行つた。その結果をこゝに報告する。

測定方法及び結果

1) 測定方法及び試料

藻体吸収曲線は、幅 1cm・長さ 5cm の 2 枚の無色硬質硝子板の間に、しわがよらないように藻体をはさみ、セルホルダーに固定し、日立製 EPU-2 型分光光電光度計で測定した。

試料は実験の都度、松島湾・万石浦・松川浦等から採取した藻体を用いた。

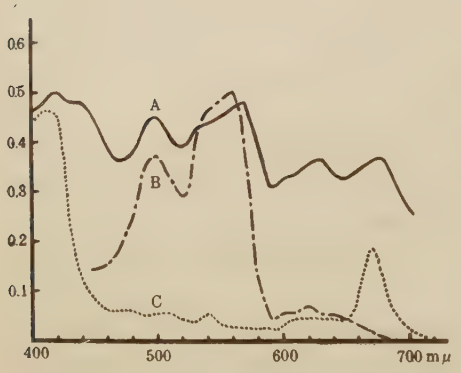
2) 藻体吸収曲線

a) マルバアサクサノリ

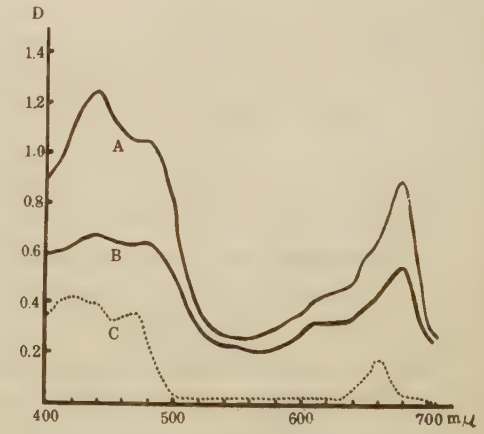
1956年 4 月13日塩釜港内[3] より採取した試料について、藻体吸収曲線を測定した結果は、第1図 (A) のようになつた。

同時にそれらの藻体から抽出した、フイコエリスリン（吸収部500·560mμ）を主成分とし、比較的少量のフイコシアン（吸収部615mμ）を伴う水溶性色素区分の吸収曲線を第1図 (B) に、更にクロロフイルを主要成分と考えられる区分（吸収部400～440mμ・680mμ)[1] の吸収曲線を同図 (C) に示した。

曲線 A に於て 440mμ に小さいピークの認められるのは、恐らくクロロフイルの他にカロチン・キサントフイル等の影響もあるためと思われる。



第1図　マルバアサクサノリの藻体と色素の吸収曲線
A——藻体吸収曲線
B -·- 水溶性色素の吸収曲線
C·····Chlorophyll, Carotenoid の吸収曲線



第2図　アオノリの藻体と色素の吸収曲線
A・B——藻体吸収曲線
C····· Chlorophyll, Carotenoid の吸収曲線

b) アオノリ

(a) の実験と直接の関係はないが、水溶性色素の存在が認められなかつたアオノリの藻体吸収曲線を第2図 (A·B) に示した。

同時に採取した試料藻体から得られた、クロロフイル・カロチノイドの吸収曲線は同図(C)のようになつた。

以上の実験結果から、藻体吸収曲線で見られる400～440mμ・500mμ・565mμ・615mμ・680mμ等の顕著なピークは、アサクサノリに固有な吸収帯と考えられる。

特に水溶性色素区分に於ては、565mμの吸光値で、又クロロフイル・カロチノイド区分については、クロロフイル・カロチン・キサントフイル等の影響をも考慮すれば、430～440mμに於ける吸光値をもつて、それぞれ水溶性色素及び脂溶性色素の存在量を比較表現する代表値と考えられるであろう。

従つて藻体吸収曲線の測定によつて、筆者がこれまで実験を行つてきた水溶性色素及びクロロフイル・カロチン等の変化する過程を追跡できる場合が考えられる。

3) 藻体吸光値の季節変化

前報[1~3]に引続き、養殖ノリの藻体吸光値の季節変化について検討した。

試料は松島湾内(浜田浦)[1]及び松川浦(岩の子地先)の養殖場より、それぞれ同一篠から採取した。

採取時期及びクロロフイル・カロチノイド系色素及び水溶性色素系の藻体吸光値を表示すると第1表のようになる。

第1表　松島湾(浜田浦)及び松川浦(岩の子地先)の藻体吸光値

産地	試料	採取月日	藻体の吸光値(D) 440mμ	565mμ
松島湾	A	1955, X. 15	0.920	0.675
	B	〃 XI. 24	0.660	0.445
	C	〃 XII. 17	0.350	0.200
	D	1956, I. 19	0.260	0.130
	E	〃 II. 13	0.180	0.095
松川浦	F	1955, XI. 24	0.270	0.200
	G	〃 XI. 30	0.210	0.130
	H	1956, I. 27	0.205	0.080

浜田浦は前報[1~2]に報告したように、季節が進むにつれて藻体中のクロロフイル・カロチノイド・フイコエリスリン等の色素量は減少している。

この減少する状況は藻体の吸光値から、浜田浦では12月以降顕著に現われている。

又この実験を行つた際の松川浦の藻体吸光値は、特に小さいことが注目される。

松川浦(岩の子地先)は前報[1]及び岩崎等[7](1954)が報告したように、栄養塩類が少なく、ノリの窒素含有量は大体4%以下で異常に少ない。従つてクロロフイル・カロチノイド・フイコエリスリン等の含有量も低いものと考えられる。

4) 紫外線の影響

本年5月29日松島湾内の岩礁に付着していた藻体(スサビノリ?)は、極めて狭い棲息範囲でありながら、露出時岩礁により日陰になる場所に生育していた藻体は濃色であり、露出時日光が当る場所に生育していた藻体は比較的淡色であつた。採取した時の水温は18°C内外で、両者の生育環境は光線以外には差異があるとは思われなかつた。

藻体吸収曲線の測定から得られた、クロロフイル・カロチノイド色素系及び水溶性色素系の藻体吸収代表値は、第2表のようになつた。即ち色素量と光量とは逆比例するのではないかとの疑問が生じた。そこで次の実験を行つた。

暗室内で硝子水槽（水深 3cm・水温 18°C）中に藻体を培養し、30cm 上方より 紫外線電球（GR-1510）を 3 時間照射した。

照射前後に於ける藻体吸光値を比較すると、第 3 表のようになり、照射後にはクロロフイル・カロチノイド及びフイコエリスリン等の色素は減少している。

アサクサノリの生育には光が必要であると考えられるが、或る程度以上光が強くなることは、藻体中の色素量を減少させる結果となり得ることを示すものではあるまいか。

第 2 表　生育場所による藻体吸光値

生育場所	藻体の吸光値（D）	
	440mμ	565mμ
日陰ノリ	0.500	0.400
日向ノリ	0.300	0.215

第 3 表　紫外線照射による藻体吸光値

試　料	藻体の吸光値（D）	
	440mμ	565mμ
照射前	0.285	0.185
照射後	0.090	0.035

5）　採取後藻体の保存による変化

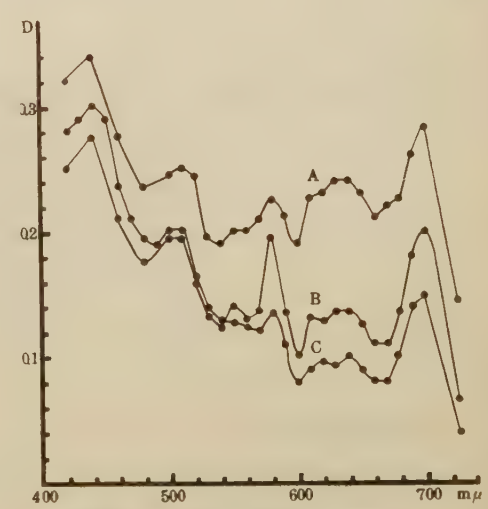
ノリを漉くのは原則として摘藻当日行われる。然し天候によつては「トメノリ」としなければならない場合も考えられる。そこで摘藻後の藻体吸光値について検討した。

試料は1956年11月19日松島湾内で採取した藻体を、次の 3 方法で処理した。

即ち水温 10°C 以下で、塩素量 11‰ の海水に48時間浸漬したもの（A）・海水と同水温で淡水中に浸漬したもの（B）・室内（室温約10°C）で空気中に48時間放置したもの（C）について、夫々藻体の吸光値を測定した結果は、第 3 図のようになつた。尚（A）・（B）は 1 立中に藻体 20g を浸漬した。

クロロフイル・カロチノイド系色素及び水溶性色素系の藻体代表吸光値を比較すると、A→B→Cの順底に低下している。

海水中に保存する場合には、水温・藻体と水量等が問題になる。一般に業者は「トメノリ」にする場合には、現在では水切した後、藻体を室内で風乾しているようである。



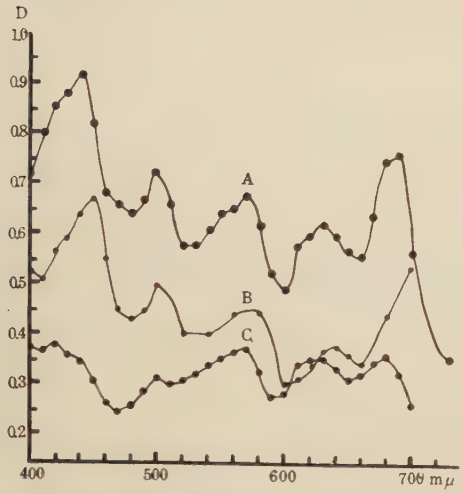
第 3 図　保存した藻体の吸収曲線
A—海水　B—淡水　C—室内放置

6）　生藻体と乾燥保存した「ノリ」の変化

生の藻体と乾燥保存した藻体の吸収曲線の変化を検討するため、1955年10月15日松島湾内から採取した藻体（A）及びそれを吸収曲線を測定した硝子板間に固定し、濾紙に包んで 1 週間褐色のデシケーター中で保存したもの（B）同じ試料を更に約 6 ケ月間デシケーター中で保存したもの（C）等について、藻体の吸収曲線を図示すれば第 4 図のようになつた。

藻体の 440mμ 及び 565mμ の吸光値は、A→B→C の順序で低下している。即ち乾燥した条件

でも長く保存することは漸次ノリの品質を低下させるものと思われる。



第4図　保存した藻体の吸収曲線
A—採取直後　B—7日後
C—6ケ月後

7）藻体吸光値と製品の品位

1955年11月より56年1月に亘る期間中、松島内で採取した藻体試料から、濃紫色より萌黄色に亘る藻体6種を選び、藻体の吸光値を測定した。その結果は第4表のようであつた。

それらの藻体より漉かれた乾海苔製品は、肉眼

第4表　松島湾ノリの藻体吸光値

試　料	藻体の吸光値	
	440mμ	565mμ
A	0.660	0.460
B	0.640	0.430
C	0.400	0.280
D	0.350	0.240
E	0.240	0.125
F	0.210	0.085

判定の結果では、A・Bは上級品、C・Dは中級品、E・Fは下級品と評価された。

考　　察

尾形等は Beckman の分光光電計のセル（1cm角・深さ約5cm）の一側の内側に同じ位の大きさに切つた藻体をはりつけ、しわがよらないようにうすい硝子の小片でおさえ、セル内に海水を満たして吸収曲線を測定している。

筆者は2枚の硝子板に藻体をはりつけ、海水を使用しないで測定したが、藻体吸収曲線の顕著なピークは尾形等[4](1954)の報告と一致した結果が得られた。

藻体吸収曲線で見られる 430～440mμ・500mμ・565mμ・615mμ・680mμ 等のピークは、抽出したクロロフイル・カロチノイド及びフイコエリスリン・フイコシアン等の吸収部にほゞ一致している。

水溶性色素で見られるように、フイコシアン（615mμ）の色素が比較的少ないのは、恐らく短時間の抽出ではフイコシアンは余り溶出しないためと考えられる。

養殖場に於て、ノリが黄変するにつれて、藻体の吸光値が低下するのは、主として脂溶性色素及び水溶性色素量の減少によるものと考えられる。

淡水で処理した場合、藻体の吸光値が低下するのは、細胞の変形・膨潤・解膠等の生理障害及び色素が溶出したものと思われる。

これについて野沢[8](1957)は、海水の塩分と細胞変形について、水温は明らかでないが、Cl 4‰以下では細胞の変形が早く、そのまゝ崩壊することをみている。

藻体吸収曲線の変化は、ノリの種類・藻体の部分及び厚さ等によつても、その吸光値は変化することが考えられるが、限定された範囲では、藻体吸収値の変動によつて、ノリの色沢変化を推定することが可能である。

摘　　要

養殖ノリの色沢変化に関して、藻体吸収曲線の変化と脂溶性色素及び水溶性色素との関係について検討した。

1) 藻体の吸収曲線に於ける 430～440mμ・500mμ・565mμ・615mμ・680mμ 等のピークは抽出したクロロフイル、カロチノイド及びフイコエリスリン・フイコシアン等のピークにほゞ一致している。

2) 藻体吸収曲線の変化から、440mμ 及び 565mμ の吸光値を測定することによつて、ノリの色沢変化を推定することが可能と思われる。

3) 松島湾内（浜田浦）に於ける藻体吸光値の季節変化は、12月以降次第に低下した。松川浦（岩の子地先）に於ける藻体の吸光値は特に小さかつた。

4) 紫外線電球を藻体に3時間照射した場合には、藻体の吸光値は低下した。

5) 室内に48時間藻体を放置した場合及び数ケ月間デシケーター中に乾燥保存した藻体は、いづれも藻体吸光値は低下した。

終りに御指導と校閲をいただいた本所増殖部長谷田専治博士・利用部長谷井潔博士に深甚なる謝意を表す。

文　　献

1) 佐野　孝（1955）養殖ノリの色沢変化に関する研究（Ⅰ）水溶性色素の変化　東北水研報（4）243～261

2) ―　（1955）養殖ノリの色沢変化に関する研究（Ⅱ）脂溶性色素及び水溶性色素の変化　東北水研報（5）64～78

3) ―　（1956）養殖ノリの色沢変化に関する研究（Ⅲ）所謂夏ノリの脂溶性色素及び水溶性色素の変化　東北水研報（8）62～68

4) 尾形英二・永井進（1954）アサクサノリ細胞の被害の判定について　大阪大学　生理生態 6（1）10

5) 尾形英二（1956）ヒトエグサの傷害・生死の徴候について　日水誌　Vol. 22, No. 7

6) ―　（1956）アサクサノリ及びヒトエグサの傷害度と TTC 還元量との関係　日水誌　Vol. 22, No. 11

7) 岩崎英雄・松平近義（1954）松川浦アサクサノリ養殖場の研究Ⅰ　アサクサノリの窒素・燐含有量に影響する環境要因に就いて　日水誌　Vol. 20, No. 2

8) 野沢治治・野沢ユリ子（1957）海藻の原形質に関する研究（Ⅱ）アサクサノリ「アナグサレ病」について　日水誌　Vol. 22, No. 11

9) 佐野　孝（1956）海藻類の酸素放出について　日本水産学会秋季大会（広島）に於て発表

東北水研　研究報告
第10号
Nov. 1957

ワカメの生態及び養殖に関する研究※

黒木宗尚・秋山和夫*

STUDIES OF ECOLOGY AND CULTURE OF *UNDARIA PINNATIFIDA* (SUR.) HARIOT

By

Munenao KUROGI and Kazuo AKIYAMA

Undaria pinnatifida, a species of Laminariales, is widely distributed in Japan and it is utilized for food.

Observation in the field

In Matsushima Bay, south of the Oshika Peninsula, north-eastern Honshu, the plants grow in the lowest littoral to sublittoral regions of 2–4 m in depth. They are visible to the naked eye in early November, grow to about 30 cm in height in early December, to 100–150 cm in late January to early February, and attain 200–300 cm in April to May. Then they disappear in late July to the middle of August. The plants living in shallow water disappear earlier than those of deep water.

Their sporophylls begin to be formed in late December as an ear-like lateral growth of the stipe. They fully grow and liberate zoospores in April (or March) to the end of the season.

In the region north of the Oshika Peninsula, where the water temperature is less higher in summer and less lower in winter compared with Matsushima Bay, the plants survive later and they are lost to sight in late August. Sometimes they are seen in deeper water in September and rarely in October.

Culture of zoospores

As reported by Kanda (1935, '36), liberated zoospores attach to the substratum and become spherical after their active movement for several minutes to one hour. Then they issue a germination tube and form an embryonic cell at its apex. The cells successively divide and develop into a scarcely branched filamentous male or female gametophyte. Male gametophytes are generally slender, more branched and greater in number of cells than female ones.

In the culture of April 16, 1952, the gametophytes were distinguished as male or female after nine days, formed antheridia or oogonia and produced sporophytes on the female gametophytes after 20 days. The sporophytes reached a length of 500–600 μ or occasionally 1.5 mm after about one month.

The required number of days for maturation of the gametophytes differed according

※ 東北海区水産研究所業績　第108号
* 旧姓平野

to the cultures. In another culture (May 15, 1952) it was 48 days, in the third (May 29) 30 days and in the fourth (June 23) 23 days. This seemed to be due to the differences of the enviromental factors, such as water temperature, specific gravity, light, nutrient, etc..

In the other culture (August 1, 1951) unmotile cells, which are perhaps unmatured zoospores, were abundantly liberated from the zoosporangia together with a small number of motile cells (zoospores). The plant used for the experiment had liberated zoospores two days ago and was dried for one night before the experiment. Only a few of the settled cells on a slide glass issued a germination tube in the usual manner and most of them showed no development for a long time except for enlarging in their diameter (10–15 μ). In late August the spherical cells began to slowly divide without issuing a germination tube and subsequently developed into gametophytes as usual germlings (Fig. 2). On the other hand, the germlings with a tube did not well develop until late August, this seemed to be due to the high temperature of 26–31°C in August.

In this culture, of which the culture medium had not been changed throughout, the gametophytes grew unusually large and much branched, but did not become mature. This condition continued until June 29 of the next year, although some materials became mature by the change of the culture medium with nutrient one or by suspending in the sea. (Fig. 3).

On June 29, the culture medium of the unmatured gametophytes, which had Cl 28.30‰ and no trace of N or P, changed with the filtered sea water without N and P, and with the same water to which was added KNO_3 0.1 g and Na_2HPO_4 0.02 g per liter. In the last nutrient culture the gametophytes formed antheridia or oogonia after seven days, and produced sporophytes on the female gametophytes after 11 days. But in the first unchanged culture and in the second poor nutrient culture the gametophytes did not become mature and formed no sporophytes.

Culture of sporophytes in the sea

To observe the growth of sporophytes of *Undaria pinnatifida*, gametophytes with young sporophytes on "Amilan" threads or oyster shells were cultured in the sea at Onagawa Bay north of the Oshika Peninsula.

The gametophytes were obtained from zoospores in the laboratory in April to June in 1952, of which sporophytes were about 1–5 mm high when they were hung in the sea.

The gametophytes were fastend to a rope (2–5 m long, 2 cm thick) together with their substrata, then they were hung from a raft. The hanging was carried out every month from June in 1952 to April in 1953 except July and October. Additionally in June and August zoospores were hung as soon as they fixed on the substrata.

The observation of the hanging materials was made every month from July to September of the next year except October. A great number of sporophytes were produced from each hanging gametophytes, and fully grew and become mature respectively. But in the suspended materials of June, only a few sporophytes developed due to the covering of the rope with *Mytilus edulis*, compound ascidia and other organisms.

The processes of growth and maturation of sporophytes of each hang are shown in Fig. 5 and Table 3 in which August 12 *a* represents an individual which made the eariest development, *b* the other, and *c* the sporophytes derived from the zoospores which were hung soon after becoming fixed on the substrata.

Soon after hanging in each month, except June, August *a*, September and April, most of the large young sporophytes appeared to fall off, and after one to one and a half months the sporophytes showed a size nearly equal to that when they had been hung. As to the early growth of the suspended sporophytes, it was presumed that, judging from the materials of June, August *a* and *c*, September and April and from the culture in the laboratory, sporophytes in a good condition have a length of about 1 mm one month after the liberation of zoospors, about 2 cm after two months and about 7–8 cm after three months.

Sporophytes of the suspensions of August and September had the largest length of 2 m or more, and those of the other trials showed a less length as the experiment was late in the season. Suspended sporophytes of June had the smallest size, and one of those of August (*a*) did not grow so large as the ones of August. Sporophytes appeared to cease to grow when attaining maturity.

The season of their full growth was March to April in the trials of August and September, and it was gradually prolonged as the hanging was late in season.

Then sporophytes stopped to grow and were gradually shortened due to dying of their apical parts. At last there remained the mid-ribs of the leafy parts and sporophylls at the basal parts of the plants. These basal parts also fell off in June to September in all of the suspension trials.

New sporophytes were continuously produced for a long time in each hang. In the ones of August and September there were seen young sterile sporophytes of 10–50 cm in height in May, and in the trials of November to April there were those of 5–30 cm in June to July.

Judging from the result of the hang of June, it is presumed that in the late season of *Undaria pinnatifida* there may be some plants derived from the zoospores which are liberated in its early season of maturation (March to April), besides those from the zoospores in the preceeding year.

As to the maturation, sporophytes of earlier hangs matured earlier, but those of February to April matured in nearly the same season (Table 3). Sporophytes of the later suspensions, especially in that of June, required a less number of days for maturation.

Sporophylls began to be formed in a certain size of plant as an ear-like outgrowth of the stipe. The size differed according to the season of hanging. In those of August and September and of February to April, sporophylls began to develop in the size of more than 30–50 cm of plant, and in the ones of November and December they started to be formed in the size of more than 60–70 cm. In the hang of June they were formed in the height of 15 cm, altough they were small. On the other hand, in the season of March to April there were seen sterile plants of 80–120 cm in height, but in July there were matured plants of 40–60 cm in height.

There were various shapes of sporophylls among each hang. This happened regardless of the difference of mother plants from which cultured zoospores were obtained. Four types of sporophylls, broad type, long type, distant type and small type, were artificially distinguished, although there was not clearly. Broad type had a large diameter of 20 cm or more and it generally appeared in December to March in the hangs of August and September. Long type had a length of 30 cm or more and a small diameter of 5–10 cm, it mostly appeared in February to May in the trials of August, September and November. The two types seem to belong to *f. typica* Yendo. Distant type belongs to *f. distans* Miyabe et Okamura which has sporophylls distant from the leafy part of the plants. It was not so large in size and generally appeared in April to June in the experiments of November, December, January and February. Small type had a small size and a less fold, and it appeared in June to August in the hangs of February, March, April and June. The type seems to belong to *f. typica* or *f. narutuensis* Yendo.

There are three methods for the cultivation of *Undaria pinnatifida*: 1) a naked rope with neither zoospores nor gametophytes is hung from a raft, 2) a rope, on which a certain number of sporophylls are put, is suspended from a raft, 3) a rope, on which threads or shells with fixed zoospores or gametophytes are put, is lowered from a raft. Fixed zoospores are obtained on land (in the laboratory), and gametophytes are cultured on land or in sea until they are strung from a raft.

The season of the hanging, from the above mentioned results, seems to be best done in August to October in such a sea as Onagawa Bay where the water temperature of that period was 22–17°C in each ten days average. August is the last season of *Undaria pinnatifida*.

On the other hand, in Matsushima Bay and in similar areas, the profitable season for suspension seems to be late September to October, judging from the change of water temperature there and others. The last season of *Undaria pinnatifida* is late July to the middle of August. In such a sea the third method of cultivation seems best.

緒　　言

ワカメは我国ではアマノリ・テングサ・コンブ・アオノリと共に重要な水産植物の一つになつている。北は北海道から南は鹿児島まで広く分布しているが、特に三陸沿岸に多く、全国の3～5割をこの地方から産出している（第1表）。

このワカメについては之までに多くの研究報告がある。即ち岡村（1901, '36）、宮部（1902）遠藤（1911）は発生・生態或は増殖についても触れているが、主として分類学的研究を行い、神田（1935, '36）は游走子の発生・配偶子体の形成・胞子体の形成を明らかにしている。生態・増殖の研究としては木下・渋谷（1944）、木下（1947）は游走子の発生適温を調べ、須藤（1948, '52）はワカメの成熟の状態及び游走子の放出・運動・着生について詳しい報告を行い、最近斎藤（1956 a, b）は配偶子体・胞子体の発生と水温・比重・光線等の環境との関係を調べている。また木

第1表　我国の乾ワカメの府県別生産量（10万貫以上の生産県を示す）（単位：千貫）
Table 1. Production of dried "Wakame" (*Undaria*) in Japan by prefecture (unit : 1.000kan)

Year	Total	Iwate	Miyagi	Hokkaido	Aomori	Nagasaki	Shimane	Others
1955	2,331.5	583.0	409.0	361.9	151.7	138.3	137.0	557.9
1954	1,598.1	274.7	150.2	409.1	120.6	135.5	108.4	643.7
1953	2,438.9	—	—	—	—	—	—	—

（農林省経済局統計調査部　1955, '56）

下・柴田（1934）、木下・石栗（1940 a, b）、木下（1947）、川名（1937）はワカメの豊凶と水温等の環境との関係を論じ、木下（1944, '47）は成実葉を繩に挟んで游走子付する垂下養殖を研究し、更に木下・渋谷・広部（1950）はワカメの再生現象を調べ、之をワカメ養殖の際に利用することを報告している。増殖に関してはその他各府県の試験報告も多数ある。

この様に多数の研究があるが、ワカメの性状についてよく検討し、また之が増殖・養殖について考えて見ると、なお多くの不明の点が残されている様である。筆者は1951年から1953年にかけて松島湾・女川湾に於いてワカメの研究に従事し、特に天然に於けるワカメの発生・生長・消失に関しての観察・実験を行つた。観察・実験の不備その外なお検討すべき点もあり、この研究は更に続行すべきものであるが、こゝにその結果を報告する。なおこの研究の一部は1953年の日本水産学会大会（東京）で報告したものである。

この報告に先だちワカメの培養（養殖）実験に際して、東北大学女川水産実験所の使用及び水温・比重の観測資料の使用を許された同所長今井丈夫教授及び実験に種々の便宜をいたゞいた同所酒井誠一氏その他の方々に厚くお礼申し上げる。また本研究に色々助言をいたゞいた東海区水産研究所須藤俊造博士、御激励をいたゞいた当研究所谷田専治博士に厚くお礼申し上げる。

東北沿岸に於けるワカメの生育状態

1951年から'53年にかけて行つた松島湾に於ける野外観察について先に述べる。松島湾ではワカメは外海に面する所に、また湾内にも多数生育している。湾内では海底のカキ殻等に附着し、外海に面した所では低潮線前後及びそれ以下の岩・石等に附着している。共にその生育深度は2～4m位までが大部分のようである。

ワカメの出現期については1952年11月18日に代ケ崎で、低潮線附近に高さ10～15cmあり、葉状部に裂片の形成され始めているのを採集したのが初めてであるが、11月初旬には既に肉眼で認められる位の大きさに生長しているものと考えられる。

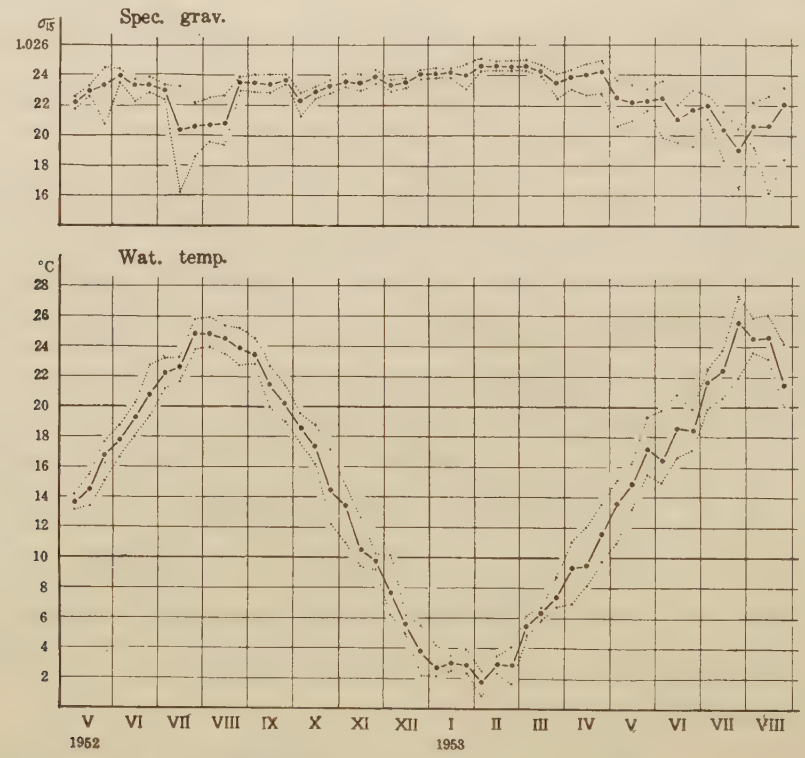
その後の生長状態は12月上旬に約30cm、12月下旬に約60cm、1月下旬～2月上旬に100～150cm或はそれ以上になる。そして4・5月には2～3mの大きさに生長する。なお2・3月になるとワカメが黄ばんで褪色するのが見られる。

成熟に関して、成実葉は12月下旬から1月上旬にかけて茎部に膨みを生じ形成され始め、3月

上旬には可なりの大きさに達する。游走子が盛んに放出されるのは4月上・中旬からのようである。

なおワカメの芽は11月以降続いて出現し、5月下旬になお成実葉の形成のないものが存するが、6月下旬になると成実葉の形成のないものは見られなくなる。初期に出現するワカメは一般に大きく生長し、幅の広い成実葉を有するが、之等は6月下旬には少くなる。後期に出現するものはあまり大きくならず、幅の狭いそして比較的に長い成実葉をもつている。またワカメの生育末期には30cm以下の小さいものでも成実葉を形成し游走子を放出する。

ワカメの消失期はその生育場所で差があり、低潮線前後で早く7月下旬～8月上旬に流失する様であるが、深い所では8月中旬頃にもいくらかは残つているものがある。なお調査期間中の松島湾の水温・比重を第1図に示した。



第1図　松島湾桂島の水温・比重の旬平均とその変異

Fig. 1. Water temperature and specific gravity in each ten days at Katsurazima in Matsushima Bay (observed at 6.30 a.m. and 5.30 p.m.).

次に松島湾以外の東北の沿岸、特に牡鹿半島以北の所謂三陸沿岸のワカメについてのべると、十分調査はしていないが、松島湾よりおそくまで生育しているようである。牡鹿半島の鮎川・金華山附近では8月上旬にもなお多数のワカメが存し、ワカメ採りを行つているが、8月下旬には殆ど流失してしまうようである。しかし業者の話によると深所ではなお9月にもワカメが存し、

時には10月になつても見られることがある由である。また岩手県越喜来湾では7月中旬～8月上旬に海に繩を入れて、多数のワカメを附着させて養殖している。更に筆者は宮城県北上村相川で1956年10月初めに建込んだノリ簀の施設繩にワカメの附着しているものを1957年2月に観察した。之等の所も大体鮎川・金華山附近同様の生育期を示しているものと思われる(第6図参照)。

游走子培養

1951年から'52年にかけて数回行つた培養実験の中、順調な発芽・成長を行つたもの(実験1)，異状な発芽を行つたもの(実験2) 及び栄養塩添加と配偶子体の成熟についての実験についてのべる。

游走子付に使用した母藻は松島湾で採集、培養実験は塩釜の当研究所で行つた。培養に際して培養器は300～1,000cc 容のガラス製培養器を、基質はスライドグラス・アミラン糸・カキ殻を使用した。培養液は天然海水を濾過し之に 海水1Lに対し、KNO_3 0.1 g, Na_2HPO_4 0.02 g を加えたものを用い、5日毎に換水した。

培養実験期間中の室温は第2表の通りである。

第2表　培養実験中の室温

Table 2. Temperature in the laboratory during the experiments.

	max.		min.	
	max.	mean	min.	mean
1952 Apr. 1～10	16	16.0	7	7.0
11～20	20	14.9	9	10.6
21～30	20	17.5	8	9.4
May 1～10	21	19.9	11	11.9
11～20	22	20.4	11	12.5
21～31	25	22.4	14	16.8
June 1～10	24	21.5	15	16.7
11～20	25.5	23.6	18	19.1
21～30	26.5	21.9	19	20.3
July 1～10	30	26.2	20	21.7
11～20	27	25.4	21.5	22.2
21～31	33	29.3	23	24.4
Aug. 1～10	32	28.8	23.5	24.0
11～20	33	29.0	23	23.8
21～31	34	30.1	22	23.6
Sept. 1～10	29	27.0	22	23.2
11～20	27	24.1	19	20.9
21～30	24	22.8	17.5	18.8
Oct. 1～10	24.5	21.3	16	17.7
11～20	22	19.9	14	16.3
21～31	19	16.7	9	12.7
Nov. 1～10	16	14.9	9	11.2
11～20	16	14.3	6.5	9.5
21～30	16	13.9	8	9.1
Dec. 1～10	15	13.1	5	6.1
11～20	16	12.9	4	5.6
21～31	13	10.9	3	3.6

The temperature was measured by a maximum and minimum thermometer.

実験 1

1952年4月16日、砂尻にて母藻採集、蔭乾して翌17日に游走子を放出させ、その濃厚游走子液を 1/1,000 乃至 1/10,000 に稀釈して游走子付を行つた。

放出した游走子は数分乃至1時間位の後に基質に附着して運動を止め、直径6～7μの球状体になる。以後の発芽・成長の経過は次の如くである。

1日後　球状体(原胞子)は太さ2～3μ，長さ25μ位までの発芽管を出す。

2日後　原胞子の内容は発芽管に移行し始め、発芽管の先端が膨らんでくる。発芽管は45μ位までの長さを

有する。原胞子の内容の全く空になつたものも見られる。

4日後　原胞子の内容はすべて発芽管の先端部に移行し、隔壁が形成される。先端部の太さは5～7.5μとなる。

9日後　発芽体の先端細胞が分裂して2～4個細胞になり、中には枝分れもして太さ5～7.5μの細いものと、1～2個細胞で太さ8.5～12.5μの太いものとが区別出来る。前者は雄性配偶子体に、後者は雌性配偶子体になるものと思われる。

19・20日後　雄性配偶子体は長さ150～200μ位まで、2・3個乃至4・5個の枝を有し、細胞数を増し、その太さは6～9μとなる。長さ6～8μ，幅3～5μの蔵精器の形成が認められ、精虫を放出して空になつているものも見られる。雌性配偶子体は長さ100～150μ時に200μ位までとなり、2・3の枝を有するものもあるが、細胞数は雄性体より少い。太さは10～15μあり、長さ100μ位まで，幅15～20μの蔵卵器を形成し、既に受精を終つて胞子体を形成しているものもある。

29日後　多数の胞子体を生じ、胞子体は500～600μ時に1.5mmに生長した。

実験　2

1951年7月30日業者が鰐ケ淵水道で母藻採集，採集後容器に入れた海水に浸漬し，翌日海水からあげて研究室にもつて来たものを材料として用いた。この成実葉上には多数の游走子の発芽体が附着しているのが見られた。この発芽体を洗い落して游走子の放出を試みたが，放出は殆どなかつた。この成実葉を再び蔭乾して翌日（8月1日）游走子の放出を試みた。多数の放出を見たが，鞭毛をもつて運動しているものは極めて少く大部分は不動の細胞であつた。

第2図　ワカメの游走子の異状発芽（実験2）

Fig. 2. Abnormal development of zoospores of *Undaria pinnatifida* (Harv.) Sur. (Experiment 2),
A 26 days old (Aug. 27, 1951),
B 33 days old (Sept. 3),
C 57 days old (Sept. 27)　×ca 270

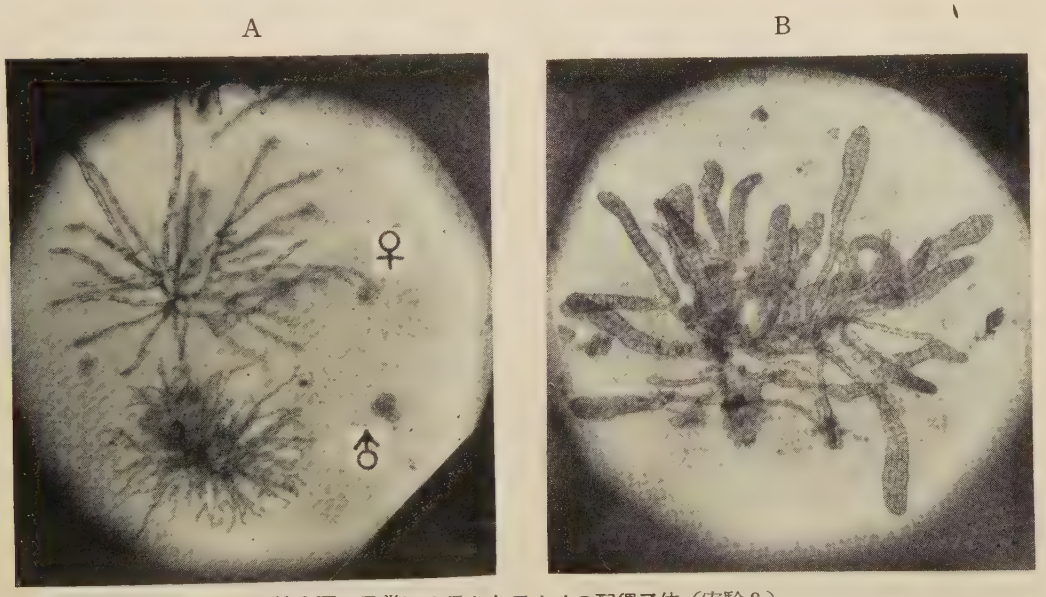
放出した之等の細胞はその一部だけが実験1と同様に発芽管を出して発芽し，大多数は長い間その直径を増して膨大したが発芽管を出さないでいた。発芽管を出したものもまた生長は殆ど認められず，その多くは先端細胞を膨大したまゝであつた。そして放出後26日目（8月27日）には(1) 発芽管を出して発芽したものの先端細胞が分裂せずに10～15μに膨大しているもの或は2・3個細胞になつているものと，(2) 未発芽のまゝ10～15μに膨大した球形のもの或は之が啞鈴状或

は瓢箪形になつているものが見られた（第2図A）。

この実験では培養水には栄養塩を加えずまた之までの間及び以後も培養水は交換せずに観察したが、その後（1）の発芽体は除々に生長し、また（2）の膨大細胞は発芽管を出すことなく、（1）の発芽管を出して発芽したものの先端細胞と同様な働をなして配偶子体を形成して行つた。即ち9月27日（57日後）に5・6個以上時に15個細胞からなるものが見られ、雌雄の区別も出来るようになつた（第2図C）。以後更に生長して行つたのであるが、この培養では発芽管を出したものも出さなかつたものも非常に伸長し、また分枝するのみで12月13日に至るも雌雄生殖器管は形成されずこの状態は翌年6月29日に於いても同様であつた（第3図A）。

実験 3

実験2に於ける未熟の配偶子体の一部を栄養塩を加えた培養水で培養し、或は海に垂下して培養すると間もなく雌雄の生殖器管を形成し、胞子体も形成されたが、これらの実験の一つについてのべる。



第3図　異常に生長したワカメの配偶子体（実験2）

Fig. 3. Unusually grown gametophytes of *U daria pinnatifida* (Harv.) Sur. (Experiment 2), A unmatured male and female gametophytes in the unchanged culture medium, 134 days old (Dec. 13, 1951), B sporophytes on a female gametophyte in the same culture, after removing to the nutrient medium. ×ca 65

前記の未熟の配偶子体の培養液を1952年6月29日に（1）栄養分としてN, Pの存在を殆ど認めることの出来ない濾過海水、（2）（1）の海水1Lに対し栄養塩として KNO_3 0.1g, Na_2HPO_4 0.02g を加えたものと換えて培養し、培養液を換えないまゝのものと比較して観察した。

この時の配偶子体は前年12月13日と同様に生殖器管の形成はなく、体の伸長・分枝は同じかそ

れ以上で、細胞は内容乏しくいくらか膨らんだ形をしていた。またこのときの培養液は長期間換水しなかつたために、蒸発して濃縮しCl 28.30‰ あり、N, Pの存在も認められなかつた。

結果は(2)の栄養塩を加えた培養では換水後7日後に蔵卵器・蔵精器の形成を見、11日後には卵の排出及び胞子体の形成が認められた。一方(1)の栄養塩を加えなかつたもの及び換水しなかつたものでは、その後も雌雄の生殖器管・胞子体の形成は行われなかつた。

考　　察

実験1の游走子の発芽，配偶子体の形成の経過は順調で、神田（1935, '36）が報告している通りであるが、この配偶子体の発達の経過即ち伸長・分枝の程度或は游走子の発芽から雌雄生殖器管の形成及び胞子体形成に至るまでの日数等は、神田が述べているように必ずしも一定していない。即ち実験1と2或は他の実験をも併せて比較して見ると、夫々異なつた伸長・分枝を示し、また同じ培養でも光線をよくうける所のものと然らざるもので差が見られる。成熟に要する日数も実験1では約20日を要し、実験2では極めて長く、更に1952年5月15日に行つた培養では48日、5月29日の培養では30日、6月23日の培養では23日を要している。

之等の配偶子体の発達の差は種々の培養条件即ち水温・比重・光線・栄養分等に左右されているものと考えられる。之に関して実験3からはN或はPのような栄養分の有無多少が成熟と関係することが察知される。温度については木下・渋谷（1944）、木下（1947）は游走子の発生適温のあることを述べ、最近斎藤（1956）はこの問題を取上げて、配偶子体の生長・成熟と水温・比重・光線の強さ・色光との関係更に胞子体の生長と之らの要因との関係を詳しく調べた。

次に実験2に於いて放出されたものの大部分が不動で、運動しているものは極少数であつたことについては、色々の原因も考えられるが、游走子放出実験の前日に成実葉に多数の発芽体が附着していて前々日海水に浸漬した時に放出を行つていると考えられることから、未熟な游走子が蔭乾しておいたことによつて機械的に放出されたためではないかと思われる。

また附着したものの多くが、長い間発芽せず、しかも発芽に際して発芽管を出さずに発達して行つたことについては未熟な游走子の附着によるということも考えられるが、前述の様な不動細胞がどの位附着したかも明らかでなく、はつきりしたことは云えない。このような異状発芽については神田（1935）も稀に原胞子が空にならないでそのまゝ細胞分裂を行うことがあるとのべている。何れにしてもワカメの游走子嚢から多数の不動細胞が放出され、また多数のものが発芽管を出さないで配偶子体に発達することがあることを知ることが出来た。

なお発芽に際して発芽管を出したものも出さなかつたものも8月中の生長は殆どなく、9月になつて除々に生長したが、之は8月の日中の気温が26～31°Cの高温を示していたことと関係があるように思われる。

第4図　養殖ワカメ　(1951年8月1日遊走子付、12月25日　女川湾に垂下)

Fig. 4. *Undaria pinntifida* (Harv.) Sur. cultured at Onagawa, which were derived from zoospores liberated on Aug. 1, 1951 and hung in the sea on Dec. 25;
A before hanging in the sea ×ca 20, B Feb. 12, 1952 ×ca 1/2,
C Apr. 11 ×ca 1/5, D May 10 ×ca 1/5, E June 11 ×ca 1/5

海に於ける胞子体の培養

（ワカメの養殖）

ワカメの生態即ちその出現・生長・消失或は成熟等の詳細は、天然に生育するワカメの観察だけでは十分に摑み難い。之を明らかにし、更にワカメの増殖・養殖に資する目的で、室内で培養した配偶子体を1951～'53年に松島湾・女川湾で海に垂下して培養し、之より生じた胞子体（ワカメ）の生育状態を観察した。以下1952～'53年に女川湾に於いて行つた実験についてのべる。

材料と方法

材料　1952年4月17日，5月15日・29日，6月23日に、松島湾のワカメを用いて、游走子付して得た配偶子体を材料として用いた。游走子付に使用したワカメは何れも *f. typica* に属すると思われるものである。配偶子体附着の基質はシユロ・アミランの細い紐及びカキ殻である。この配偶子体を海に垂下するまで、実験室で培養しておいたが、成熟・胞子体形成後は殆ど換水せず放置しておいた。海に垂下した時の配偶子体は何れも胞子体を形成しており、その大きさは1～3mm、時に4～5mmであつた。

方法　上記の配偶子体・胞子体の附着している紐・カキ殻をタール染した藁縄（直径約2cm）に、紐は縄の全長に亘り縒溝に沿つて巻つけ、カキ殻は15～30cm間隔にしばりつけ、之を筏にとりつけて垂下した。使用した藁縄の長さは3m（一部のもので2m，5m）で1回に1～2本を垂下した。

垂下時期　1952年6月～'53年4月の間、7月・10月を除いて毎月1回即ち1952年6月11日，8月12日，9月27日，11月14日，12月16日，1月19日，2月19日，3月17日，4月17日合計9回に分けて垂下した。

垂下場所　垂下実験を行つた所は宮城県女川湾小乗地先（東北大学女川水産実験所の所在地）である。

なお6月と8月には上記の材料を垂下した外に、現地でシユロの紐・カキ殻に游走子付したものを同様にして直ぐ海に垂下した。

結　　果

観察は10月を除いて1953年9月まで毎月1回行つた。

6月11日垂下した配偶子体及び胞子体は、ムラサキイガイ、複合ホヤその他の生物が縄に多数着生し之に覆われて少数しか生長しなかつた。8月12日以降に垂下したものでは附着生物は少く多量の胞子体（ワカメ）が生長・繁茂した。

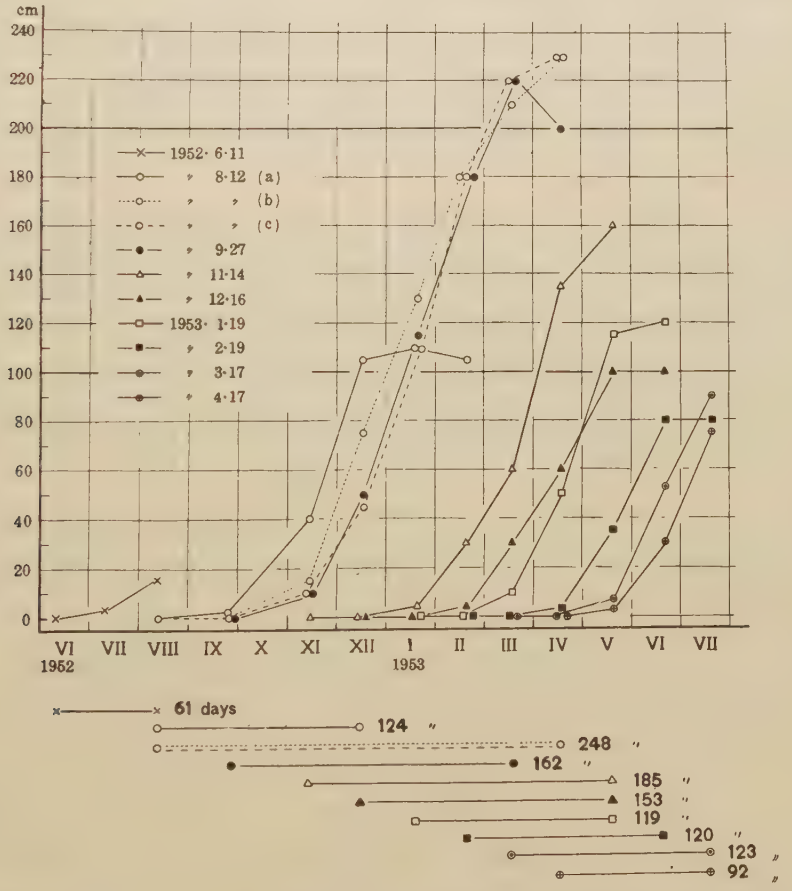
発生・生長・消失

垂下して1ヶ月～1ヶ月半後の状態を見ると、6月11日垂下のものが3cm、8月12日垂下のも

の一部(a)が1cm、9月27日垂下のものが7～10cm、4月17日垂下のものが3cmに生長したが、1月19日、2月19日垂下では肉眼的胞子体は見付からず、また残りの8月12日，11月14日，12月16日，3月17日垂下のものでは垂下時と略々同じく4～5mm位までの大きさであつた。即ち之らでは垂下時に肉眼的大きさになつていた胞子体の大多数或は始どすべてが垂下後間もなく脱落し、顕微鏡的大きさの胞子体或は垂下後に形成された胞子体が新しく生長して行つたものの様である。この1ケ月～1ケ月半後の肉眼的大きさの胞子体は一般に紐よりもカキ殻に多く見られ、また9月・4月以外のものでは海の表層近くで多く見られた。

以後の生長について、各垂下の早く発生し早く大きくなつたいくつかの胞子体を選んで観察した生長の経過を第5図に示した。なおこの図は生長が止まるまでの大きさを示したものである。その概略をのべると次の通りである。

6月11日垂下　　7月11日（1ケ月後）に約3cm、8月12日（2ケ月後）に約15cmに生長したが、



第5図　各時期に垂下したワカメの胞子体の生長経過及びその生長限界に達するまでの日数

Fig. 5. Growth of the sporophyte of *Undaria pinnatifida* (Harv.) Sur. hung in the sea in various seasons, and number of days required to grow to the largest size.

間もなく脱落して9月27日にはなくなつていた。

現地で游走子付して、すぐ垂下したものでは垂下繩に前記の如く他の生物が密に附着し、胞子体の発生を認めることが出来なかつた。

8月12日垂下　1個体だけ水面近くで特別に早く生長したものがあつた（第5図8月12日 a）。之について先にのべると、11月14日（3ケ月後）に40cm、12月16日（4ケ月後）に105cmに生長した。以後の伸長は殆どなく、反つて体の先端部から枯れて、3月17日には100cmの大きさを示していたが、4月17日には脱落していた。

他のもの（第4図8月12日 b）は11月14日（3ケ月後）に10cmに生長し、3・4月（7・8ケ月後）に最も大きく、その長さ2mを越すようになり、最大は290cmあつた。以後の伸長は見られず、体の先端部から次第に枯れて5月18日には2m位までになつた。6月19日には更に短く体の中肋部・成実葉を残すだけになつた。7月18日には之も多数脱落した。その後繩が切れて8月以後は観察出来なかつた。

現地で游走子付してすぐ垂下したもの（第5図8月12日 c）も多数の胞子体を形成し、上記の b と殆ど同時に肉眼的胞子体が発生し、且つ同様な生長を示した。

なお8月12日垂下のものでは水深1～3mの所でより大きく生長し、それより以浅ではあまり大きくならなかつた。

9月27日垂下　8月12日より約1ケ月半後に垂下したものであるが、8月12日垂下のもの（b・c）と殆ど同時期にそして同様に生長した。即ち11月14日（約1ケ月半後）に10cmになり、3・4月（約6ケ月後）に最も大きく、最大215cmに生長した（この間大きいものが少し脱落した）。その後の伸長は殆どなく、5月18日に2mまで、6月19日には150cm位までと短くなり、7月18日には体の中肋部・成熟葉を残すだけになつた。8月19日には之も大部分流失し、9月20日にはすべて脱落してなくなつていた。

11月14日垂下　1月19日（約2ケ月後）に1cm位のものが現われ、5月18日（6ケ月後）に最も大きく、最大160cmまで生長した。以後は6月19日に120cm、7月18日に80～100cmと次第に衰退し、8月19日には成実葉部を残すだけとなり、9月20日にはすべて脱落した。

12月16日垂下　2月19日（約2ケ月後）に4cm位のものが現われ、5月18日（5ケ月後）に最も大きく100cmに達した。6月19日は殆ど変らず、7月18日には体の上部枯落し、8月19日には中肋部・成実葉を残すだけになつた。9月20日にはすべて脱落した。

なお5月までは水面近くのもので生長が早かつたが、6月には下層のものが生長して来た。

1月19日垂下　3月17日（約2ケ月後）に7～10cmのものが発生し、5・6月（4・5ケ月後）に最も大きく、120cm位までに生長した。その後は殆ど生長なく、体の上部枯死して次第に短くなり、9月20日には脱落していた。

なお、12月垂下のものと同様に6月以降下層の水深2～3mの所のものが生長よく7月に

130cm になつたものがあつた。

2月19日垂下　4月17日（約2ケ月後）に2cm 位のものが現われ、6・7月（4・5ケ月後）に最も大きく、80cm 位までに生長した。8月19日には葉状部殆ど枯れ、9月20日に稀に成実葉だけを残すものが見られた。

3月17日垂下　下層部の発生悪く、上層部にもあまり多く出なかつたが、5月18日（2ケ月後）に6～8cm の胞子体が生じ、7月18日（4ケ月後）に最も大きく、80～100cm の大きさになつた。8月19日には葉状部が流失し、9月20日にはすべて脱落した。

4月17日垂下　5月18日（1ケ月後）に3cm 位の胞子体が現われ、7月18日（3ケ月後）に最も大きく、約75cm になつた。以後衰退し8月19日には成実葉を残すもの或は小さい個体が見られたが、9月20日には稀に成実葉を残すものが存しただけであつた。

以上の如く8月12日、9月27日に垂下したものは最も大きく生長して2m 以上になつたが、垂下時期がおそくなるにつれて生長は小さく、11月14日のものが160cm 位、12月16日，1月19日のものが100～120cm までしか生長せず、2月19日，3月17日，4月17日垂下のものは更に小さく80～90cm までにしか生長しなかつた。一方8月以前即ち6月11日垂下のものではもつと小さく15cm 位までしか生長せず、また8月12日に垂下し早く発生したもの（a）では1m 位までにしか生長しなかつた。

この最大生長期をすぎると何れもその先端部より次第に枯れて短くなり、終には中肋部・成実葉を残すだけになつて間もなく脱落した。この脱落期は6月垂下のものでは翌年の繁茂期まで残らないでその年の9月には脱落し、8月・9月のものでは他よりやゝ早く、6月・7月に中肋部・成実葉或は成実葉を残すだけで、8月には殆どすべて脱落した。11月から4月にかけて垂下したものではその脱落期は殆ど変らず8月に中肋部・成実葉を残すだけで9月には殆どすべて脱落した。

このように早く垂下したもの程大きく生長し、そして長期に亘つて繁茂したのであるが、胞子体は垂下後間もなく発生したもの許りでなく、各垂下共に長期に亘つて次々に新胞子体を発生するのが見られた。即ち8月12日，9月27日垂下のものでは5月18日まで10～50cm の未熟体が、6月19日にも稀に20cm 位の未熟体が見られた。11月14日～4月17日に垂下したものでは何れも6月19日まで5～30cm の未熟体が多数存し、7月18日にも少数ではあつたが5～10cm の未熟体が存していた。しかして之等の消失は上記と同様であつた。

成　　熟

前記したように、各時期の垂下によつて、その生長の度合は異なつたが、何れも夫々の大きさで成実葉を形成して成熟した。観察の不十分なものもあつたが、各時期に垂下したものの成実葉の形成され始めた時期及び十分な大きさに達した時期等を第3表に示した。

第3表　成実葉の形成期とその形

Table 3. Season of the formation of sporophyll and its shape.

materials (hanging date)	date when the early formation of sporophyll was found	full grown season of sporophyll	shape of sporophyll	full grown season of plant
1952 June 11	Aug. 12	Aug.	small type	Aug.
Aug. 12(*a*)	Nov. 14	Dec.	broad 〃	Dec.～Jan.
〃 (*b*)(*c*)	Dec. 16	Feb.～Mar.	broad 〃 long 〃	Mar.～Apr.
Sept. 27	〃	〃	broad 〃 long 〃	〃
Nov. 14	Mar. 17	May	long 〃 distant 〃	May
Dec. 16	Apr. 17	June	distant 〃	May～June
1953 Jan. 19	Apr. 17 May 18	June	〃 〃	〃
Feb. 19	May 18 June 19	June～July	distant 〃 small 〃	June～July
Mar. 17	June 19	July	small 〃	July
Apr. 17	〃	〃	〃 〃	〃

6月垂下のものでは形は小さいが8月に成実等を形成している。8月・9月垂下では11月・12月から茎部に膨みを生じて成実葉を形成し始め、2月·3月には十分な大きさになつているが、以後の垂下ではその形成時期は次第におくれている。しかして2月・3月・4月垂下では殆ど同じ時期即ち6月～7月に成熟し、4月のものは3月のものより、3月のものは2月のものより短時日で成熟している。

成実葉を形成し始める時の胞子体の大きさ，及びそれが成熟する時の胞子体の大きさもまた各垂下によつて多少の差が見られる。即ち8月・9月に垂下して11月・12月に生長期を迎えたもの，2月·3月・4月に垂下して4月～6月に生長期を迎えたものでは早いものは30～50cmから成実葉を形成し始め、更に6月垂下のものでは8月に15cmの極めて小さいもので成実葉を形成した。之に対して11月・12月に垂下して1月～3月に生長期を迎えたものでは早くても60～70cmの大きさになつてから成実葉を形成し始めた。更に之を時期的に見ると 3・4月の候には80～120cmのものでも未熟のものがあり、100～130cm以上のもので十分な大きさの成実葉を形成し成熟している。之に対して7月に繁茂しているものでは40～60cmの大きさで成熟している。

成実葉の形

形成された成実葉に色々の形があり、之が時期によつて差異があるのが見られた。その形には中間的なものあり連続していて必ずしもはつきり区別出来るものではないが、次の4つの型に区別して見た。

（1） broad type　幅が広く、幅に対して長さはあまり長くない。大きいものでは20cm内外の直径を有する。8月12日に垂下して特に早く生長したもの(a)及び8月12日，9月27日に垂

下して生長の早かつたものに於いて12月～3月の候に多く見られた。

（2） long type　長く、之に対して幅のあまり大きくないもので円筒形をなす。その長いものは30cm或はそれ以上で、直径は5～10cm位である。この形は8月12日，9月27日に垂下して少しおくれて出て来たもの及び11月14日垂下したもので2月～5月の候に多く見られた。

（3） distant type　成実葉が根部にくつつき、葉状部との間があいているもの。成実葉の大きさはあまり大きくない。之は11月垂下して少しおくれて出現したもの、12月16日，1月19日垂下したもの及び2月19日垂下したものの一部で4月～6月の候多くに見られた。

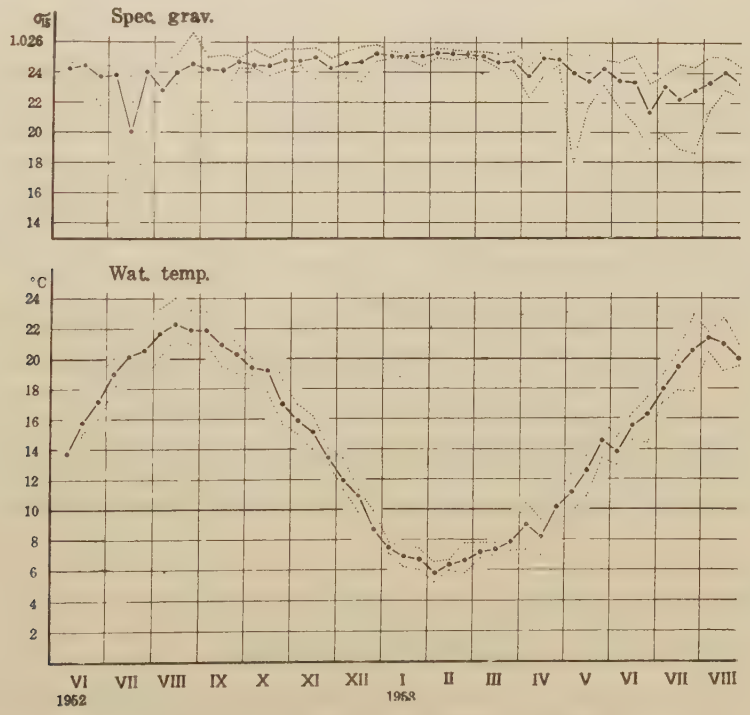
（4） small type　小さくて成実葉の襞が顕著でないもの。2月19日垂下したものの一部及び3月17日，4月17日，6月11日垂下したもので6月～8月に現われた。

なお8月・9月垂下したものでずつとおくれて発生したものでは distant type も、また11月～1月に垂下してずつとおくれて発生したものでは small type も現われた。

水温・比重

実験期間中の女川湾の水温・比重を第6図に示した。旬平均で見ると水温は8月上・中旬に最も高く、2月上旬が最も低くなつている。比重は雨の多かつた5月～8月に低くなつている。

なお女川湾の水温を塩釜湾のそれと比較して見ると、夏期にあまり高くなく、冬期にあまり低



第6図　女川湾の水温・比重の旬平均とその変異

Fig. 6. Water temperature and specific gravity in each ten days at Onagawa (at 10.00 a.m.)

くならない。

考　　察

以上の結果について2・3考察を行う。

先づ初期の生長に関して、この実験では垂下初期の詳細な観察に欠き、また既述したように垂下直後に幼胞子体の脱落が見られた等のため、胞子体の初期の生長状態を十分に明らかにすることが出来なかつた。そして各時期に垂下したものがすべてその時期の生長を代表しているとは限らず、6月11日，8月12日(a)，9月27日，4月17日以外のものでは1ヶ月前後おくれた生長を示したものと思われる。しかして上記の6月・9月・4月に垂下したもの、8月に游走子付してすぐ垂下したもの及び室内の培養実験結果から推測して見ると、順調な発生・生長を示すものでは游走子付後1ヶ月位で約1mm、2ヶ月位で約2cm、3ヶ月位で約7・8cm位に生長するものと想像される。

以後の生長については既にのべた通りであるが、上記の点をも考慮に入れると、肉眼的大きさになつた胞子体では9月～10月に、游走子付直後のものでは8月～9月に垂下したものが最も大きく生長し、11月・12月が之に次ぎ、以後は次第に小さくなるようである。

各時期に垂下したものの生長の限界即ちどの位まで大きくなるかは上記の通りであるが、生長速度即ち一定の大きさに至るまでの生長の早さは、各時期の水温の差から各垂下に差があるのではないかと思われたが、はつきりしたことを摑むことが出来なかつた。之は実験・観察の不備にもよると思うが、胞子体の老幼によつて水温による影響に差があり、この実験地に見られる範囲内の水温では、或る程度に大きくなつた胞子体は水温による生長度の差はあまり大きくないのかも知れない。また水深による生長度の差は8月・9月垂下のもの、1月・2月垂下のもので差があるように見られたが、十分な資料を得ることが出来なかつた。

次に成熟に関して各垂下によつて成熟する時期・大きさが異なり、また成熟に至るまでの日数に差が見られるが、之と水温との間に関係があり、高水温ではより早く成熟に至るようである。しかして各垂下全体を通して見ると、胞子体の成熟はかなり早くから行われることを知つた。また胞子体の生長限度は成熟と関係があり、成熟して来ると生長はとまるか抑制されるものの様である。更に成実葉の大きさは成熟と必ずしも関係なく、或る時期（後期）には小さくとも十分に成熟しているようである。

成実葉の形は前記した通りであるが、この(1), (2)の broad type, long type は *f. typica* Yendo に(3)の distant type は *f. distans* Miyabe et Okam. に、そして(4)の small type は *f. typica* 或は *f. narutuensis* Yendo に当るものと思われる。之等の胞子体を生じた游走子の母藻は何れも *f. typica* に当るもので、また幾つかの母藻からの配偶子体を各時期に夫々垂下しているので、母藻の差による成実葉の形の差は考えられなかつた。之等の形が、勿論中間的な

ものがありはつきりした線を引くことは出来ないが、垂下時期によつて異なつていることから推すと、之が胞子体の生長期の水温と関係があり、所謂北方型としての *f. distans*、南方型として *f. typica* という差が生ずるのかも知れない。

なおワカメの繁茂期に関して、4月に游走子付して6月に海に垂下したものが、十分な大きさにはならなかつたが、8月には小さい乍らも成実葉を形成して、9月には流失した。之より見るとワカメの繁茂の終期には、前年繁茂したワカメの游走子に由来するものだけでなく、その年の早くに放出された游走子に由来するものも存し得るものと想像される。

最後に本実験に於いては3～5mまでの水深でワカメの培養を行つたのであるが、より深い所に生育するもの或は潮間帯の下部のような浅い所に生育するものでは、前記したように、その繁茂・成熟の状態はいくらかづつは違つてくるであろう。また水温等の環境の異なる他の場所ともいくらかの差が見られるであろう。しかしてなお検討すべきことは多数あるが、本実験によつてワカメの生態について概略は想像出来るものと思う。

ワカメの養殖について

以上の如き実験・観察の結果と関係して、ワカメの養殖について少しのべる。

所謂投石等による増殖は別として、ワカメの養殖法（特に種付）には次の3つの方法がある。

（1） 筏に縄を垂下して、之に游走子を附着させて養殖する方法。

アマノリの養殖と同様な天然種付とも云うべきものである。岩手県越喜来湾で試みられている。

（2） ワカメの成実葉を縄に挟んで筏に垂下し、縄に游走子を附着させて養殖する方法。木下虎一郎博士（1944）によつて考案されたもので、半人工種付とも云うべきものである。有珠湾及び岩手県の一部で行われている。

（3） ワカメの成実葉を採取し、容器の中で紐・カイ殻等に游走子を附着させ、之を太い縄にはさみ或は巻きつけて筏に垂下して養殖する方法。

大槻洋四郎氏によつて考案されたもので、人工種付とも云うべきものである。筆者の行つた実験もこの方法の中に入る。1954年以来女川湾その他で行われている。

なおこの場合に游走子付してすぐ垂下する場合と、何らかの工夫をして陸上或は海で暫くかこつて後垂下する場合とがある。

之等の方法によつてワカメの養殖をうとき(1)は(2)より、(2)は(3)より簡単な方法であり逆に(3)は(2)より、(2)は(1)より確実な方法であるといえるが、養殖を行う場所の条件その他によつて何れかの方法が選定されることになる。

何れの方法にしろ、ワカメの養殖即ち垂下はワカメの成熟期なら何時、何処で行つてもうまくいくとは限らない。垂下の適期或は適所というものがあるようである。

垂下の時期については6月11日に垂下したもので分るように先づ他の附着生物の少い時期を選ぶこと、更に游走子の発生，胞子体の発生・生長に好都合な時期であることが大事である。

松島湾で1951年6月に(2)の方法でワカメの養殖垂下を業者が試みたことがあり、また筆者も1952年6月に(3)の方法で5mm位の胞子体を垂下し、更に游走子付直後のものを垂下してワカメの養殖試験を行つたことがあるが、何れも複合ボヤ或は硅藻等の他生物の附着極めて多く失敗している。

このような附着生物の問題及び游走子・胞子体の発生・生長を考えた場合に本実験を行つた女川湾では、年による差はあると思うが、既述したように游走子付直後のものでは大ざつぱに云つて8月～9月、胞子体を形成した配偶子体では9月～10月が垂下の適期のようである。この時期の水温は旬平均にして22～17°C位になつている。そして6月11日，8月12日(a)の垂下で分るように、之以前の垂下では附着生物が少かつたとしても、十分な大きさに達せずに成熟し生長が止る恐があり、また11・12月以降でもその生長は小さくなる。

この垂下時期に関して木下((1944,'47)が(2)の方法による養殖試験を行うに当つて、垂下時期の選定にワカメの発生適温から、高極水温を避け、水温変動の傾向を考慮したとのべている。そして実験を行つた1942年、'43年共に8月13日に垂下しているが、最高水温は両年共に8月上旬に現われ、垂下した8月中旬の水温は夫々23.2°C, 24.3°Cとなつている。

なお松島湾では以上のような垂下適期は9月中下旬以降のようである。

以上のような垂下時期に対してワカメの成熟期を考えて見ると、東北沿岸では游走子の盛んに放出される時期は大体4月～7月～(8月)で、8月になると女川湾その他の牡鹿半島以北の地域ではなお多くのワカメが存するが、松島湾その他の牡鹿半島以南の地域では殆どなくなつてしまう。8月までワカメの残つている所では成熟の末期と垂下の適期が辛じて重なるが、8月に殆どなくなる所では之が一致しない。しかもかゝる所ではその垂下適期も更におくれるようである。このような所では前記の(1),(2)の方法による養殖は困難で、(3)の方法でワカメの成熟・繁茂期に種付し、適当な工夫を行つて陸上或は海で垂下適期までかこつておくか、或は適地で游走子付したものを移殖するとかの方法が必要になつてくる。

次に養殖の適地については、垂下適期についてのべたことと関連するが、場所によつて水温変動の範囲或はその推移が異り、ワカメの繁茂期或は附着生物の種類・附着期も異なるから之を十分把握しておく必要がある。そして夏期の水温があまり高くならず、ワカメの繁茂期と垂下適期がいくらかでも重なる所がよいことになるが、また冬期の水温がどの位まで下るか、或は海水の栄養分の豊富な所かどうかということ等についても考慮しなければならない。例えば松島湾では前記したようにワカメの繁茂期と垂下適期が重ならず、更に1・2月の水温は低く、栄養分も一部を除いて1月～4月には非常に不足している。かゝる所では適期内で出来るだけ早く垂下して早く生長させなければならない。かゝる点を考慮してもなお1月～4月の栄養不足期を迎えなけ

ればないということは不利な養殖地であると云わなければならない。之と関連して松島湾で1952年1月5日に大きさ5mm位の胞子体を海に入れて培養実験をやつて見たが、女川湾の実験と比較して見ると、その発生も少なかつたが、2月12日に1cm、3月29日に5cm、5月7日に20cmと生長極めて悪く、ワカメの色も不良であつた。

要　　約

1. 東北沿岸に於けるワカメの生育状態

松島湾ではワカメは低潮線前後から水深2～4m位までの所に多く生育している。11月上旬に肉眼的大きさになつて現われ、3月～6月に最も繁茂している。7月下旬～8月上・中旬には流失する。成実葉は12月下旬～1月上旬から形成され始め、3月上旬には可成りの大きさになる。游走子の盛に放出されるのは4月になつてからのようである。

牡鹿半島以北では松島湾よりおそくまで残り、8月上旬にもなお多数存するが、下旬になると殆ど流失するようである。しかし深所では9月、時には10月まで見られることがある。

2. 游走子の培養

游走子は神田（1935, '36）が報告しているように、基質に附着後発芽管を出して発芽し、糸状の配偶子体になる。

順調に発達したものでは配偶子体は発芽後9日目頃から雌雄の区別が出来るようになり、20日目位で雌雄の生殖器管を形成し、また胞子体が形成される。この游走子の培養から配偶体の成熟、胞子体の形成されるまでの日数は培養によつて異なり、種々の環境条件に支配されるようである。

2日前に游走子を放出したと思われる成実葉を蔭干してから游走子の放出実験を行つた所、多数の不動細胞が放出され、また附着したものの多くは膨大はしたが長期間球状のまゝで過して後、発芽管を出すことなく分裂して配偶子体を形成した。

配偶子体の培養で長期間培養水を交換しないでおいた所、配偶子体は異常に伸長・分枝したが、成熟しなかつた。この培養水をN, Pを含んだ培養水と換えた所まもなく成熟して胞子体を形成した。

3. 海に於ける胞子体の培養（ワカメの養殖）

室内で紐・カキ殻に游走子付して得た配偶子体・胞子体を女川湾で太い縄にとりつけ筏に垂下し、胞子体の培養（ワカメの養殖）実験を行つた。

1952年6月から翌年4月まで、7月・10月を除いて毎月垂下したが、6月垂下のものではイガイ・ホヤ等の附着のため少数の胞子体しか生長せず、また翌年の繁茂期を待たずに流失した。他の垂下では何れも多数発生し十分な大きさに生長し、冬から夏にかけて多数繁茂した。

繁茂期は早く垂下したもの程早く且つ長期に亘り、おそく垂下したものでは短かつた。

8月・9月垂下したもので最も大きく生長し、垂下時期が遅くなるにつれて生長は小さかつた。

垂下時期によつて違うが、或る大きさに達すると胞子体は末枯れを始め、6月～9月に枯葉・流失した。

6月垂下のものを除いて、胞子体は次々に発生し、6月～7月まで未熟体が見られた。

早く垂下したもの、おそく垂下したもの何れも成実葉を形成して成熟した。

成熟は早く垂下したもの程早かつたが、成熟に要する日数は逆に遅く垂下したもので少なかつた。

成実葉を形成し始める大きさは時期によつて異なり、11月・12月、4月～6月或は7月・8月に生長期を迎えたもので小さいうちに成実葉を形成し始め、1月～3月に生長期を迎えたものではより大きくなつてから形成された。

成熟が早いと生長は抑えられ、この成熟がまた水温と関係があるように思われた。

発生時期によつて成実葉の形に変化が見られ、之を broad type, long type, distant type small type の4型に分けた。

なお6月垂下したものの例からワカメの繁茂の終期にはその年の初めに放出された游走子に由来する胞子体も存すると想像される。

ワカメの養殖には、(1) 繩その他のものをそのまゝ垂下する方法、(2) 成実葉を挟んで垂下する方法、(3) 游走子付してから垂下する方法がある。(3) の場合には (イ) 游走子付後すぐ垂下する場合と、(ロ) 或る期間かこつて (培養して) から垂下する場合がある。

この垂下の時期は、場所或は年によつて違うと思うが、女川湾のような所では、上記の (1), (2), (3) の (イ) の養殖の場合は8月～9月、(3) の (ロ) の場合は9月～10月の水温 22～17°C 位の時期が附着生物の有無及び配偶子体・胞子体の生長の点から適期であると思われる。そしてワカメの成熟期は4月～7月～8月であるので、出来るだけおそく游走子付垂下するか、或は游走子付後垂下適期までかこつておく必要がある。

松島湾のような所では垂下適期とワカメの成熟繁茂期が一致しないので、(3) の (ロ) の方法だけが利用される。

文　　献

神田千代一 (1935) 二三の昆布科植物の配偶子体に就て (第二報) 北大理学部海藻研究所報告 4, p. 1～16, 図版 1～2

Kanda, T. (1936) On the gametophyte of some Japanese species of Laminariales, Sci. Pap. Inst. Alg. Res., Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. **1** (2), p. 221～260, Pl. 46～48.

川名　武 (1937) 越前地方のワカメの豊凶と水温並に気象要素との関係　水産研究誌 **32** (5), p. 247.

木下虎一郎・柴田幸一郎 (1934) 北海道寿都地方に於けるワカメの豊凶と海水温度との関係について

日水誌 **3** (4)
木下虎一郎・西栗俊良 (1940 a) 北海道福山地方のワカメの豊凶と海水温度との関係について 日水誌 **9** (2), p. 79～80
———— (1940 b) 北海道産ワカメの豊凶と水温との関係 (総括) 北水試旬報 469
木下虎一郎 (1944) ワカメの新養殖法 北水試月報 **1** (5), p. 259
木下虎一郎・渋谷三五郎 (1944) ワカメの発生適温試験 北水試月報 **1** (7), p. 369
木下虎一郎 (1947) コンブとワカメの増殖に関する研究 北海道浅海水族の増殖に関する研究 其の1 北方出版社
木下虎一郎・渋谷三五郎・広部武男 (1950) 新増殖法の研究 ワカメの剪切増殖 北水試研究報告 **7**, p. 76～94
宮部金吾他 (1902) 北海道水産調査報告 巻之三 昆布採取業 北海道庁殖民部水産課
農林省農林経済局統計調査部 (1956) 昭和30年漁業養殖業漁獲統計表
———— (1955) 昭29年漁業養殖業漁獲統計表
岡村金太郎 (1901) わかめ繁殖予備試験報告 水講試験報告 **2** (1), p. 121～127
———— (1936) 日本海藻誌 p. 281～282
斎藤雄之助 (1956 a) ワカメの生態に関する研究 I 配偶子体の発芽・生長について 日水誌 **22** (4), p. 229～234
———— (1956 b) 同上 II 配偶子体の成熟と芽胞体の発芽生長について 同上 **22** (4), p. 235～239
須藤俊造 (1948) 昆布科植物の游走子の放出運動並びに着生 (海藻胞子付けの研究 第1報), 同上 **13** (4), p. 123～128
———— (1952) ワカメ・カヂメ及びアラメの游走子の放出について II (海藻の胞子付けの研究 第13報), 同上 **18** (1), p. 1～5
遠藤吉三郎 (1911) 海産植物学 p. 377～402

東北水研　研究報告
第10号
Nov.　1957

魚類肝臓及び其の他の器官におけるビタミンAの存在状態に関する研究※

第2報　所謂黒肝中のメラニン色素によるビタミンAの吸着とその化学的証明*

山　村　彌六郎

STUDIES ON THE MODE OF THE EXISTENCE OF VITAMIN A IN FISH LIVER AND THE OTHER ORGANS

II. CHEMICAL VERIFICATION FOR ADSORPTIVITY BETWEEN VITAMIN A AND MELANIN PIGMENTS IN BLACK LIVER OF THE DOG FISH

By
Yarokuro YAMAMURA

Previously (1), the author reported on the existing state of vitamin A and of fat component in the liver and the other organs of several kinds of fish, such as the dog fish (liver, kidney and spleen); the blue shark, the salmon shark, the tunny, the coral rock fish, the skipjack, the pollack (liver, respectively), and the oil sole (liver, pyloric caeca and intestine), employing the histochemical procedure.

It has been syllogized from the histochemical experiments, that vitamin A exists not only in fat soluble state but also in combined state with the tissue substances, e.g. the hepatic cell protein and especially the melanin of the pigmented cells.

The melanin which was found as black spots in the liver and considered as the causative substance of the black colored liver of the dog fish, may serve as a repository of the vitamin A in the liver tissue, because it has good affinity with the vitamin A molecule.

To ascertain this idea, some experiments have been undertaken, and the results are summerized as follows:

1. The homogenate of the black colored liver in which melanin contained in abundance, and the white colored liver in which melanin existed in poverty were extracted with equal volume of ethyl ether and the extractivity of the liver oil and vitamin A were compared, but no decisive difference could be recognized for the rate

※ 東北海区水産研究所業績　第109号

* 昭和30年6月・日本ビタミン学会脂溶性ビタミン総合研究委員会（於松島）、昭和30年11月・日本水産学会東北支部大会（於仙台）、昭和31年4月・日本水産学会年会（於東京）、昭和31年9月・日本ビタミン学会第7回例会（於慈恵医大）に於て発表したものを取りまとめた。

of extractivity of both liver oil and vitamin A of the black and white colored livers (Fig. 2).

2. Experiments were made to determine whether vitamin A (acetate aqueous solution) was adsorped by the melanin which was prepared from human hair.

By this experiments, it was confirmed that vitamin A was adsorped by melanin fairly strongly "in vitro", and recovered by ethyl ether without any oxidative destruction under nitrogen atmosphere (Fig. 6). Comparisons were made with the active carbon.

3. In Fig. 6, it was also confirmed that the vitamin A was adsorped without appreciable denaturation by the melanin which was prepared from black colored liver of the dog fish by Serra's method[8]

4. Adsorptive power between VA palmitate and several substances, e. g. active carbon, hair melanin, casein, liver protein, gelatin, agar-agar, glass powder or defatted cotton wool were measured comparatively by "shaking and settling method" in both oil solvent (petroleum ether) and water solution (liquidated by tween 80). As the results of this experiments, it has been known that the order of the adsorptivity were as follows:

active carbon>hair melanin>casein, liver protein, gelatin>agar-agar, glass powder, defatted cotton wool

in both the case of oil solvent and aqueous solution.

5. The adsorptivity between vitamin A which may be combined with glyceride (in liver oil) and the melanin or other substances were measured in petroleum ether. From this examination it was concluded that the degree of adsorptivity was inferior to the case of VA palmitate and melanin etc., but the order of the adsorptivity was scarcely changed.

6. The influence of pH upon the adsorptivity of active carbon in aqueous solution of vitamin A was examined. From the experiment, it has been seen that the degree of adsorption was at the minimum at about pH 7 and there was a tendency of rising of the degree of adsorption for the acid or alkali sides.

7. It was ascertained that the adsorption between hair-melanin and VA acetate would be suitable to Freundlich's adsorption formulae.

8. Histochemical studies were made on the relation of the melanin and the star cell, and an opinion was gained that the melanin pigments may have been formed with the star cells as the core.

目　　次

I 緒　　言

II 実験之部

1. 黒肝・白肝磨砕物をエーテル抽出し肝油と VA との抽出速度を比較する方法
2. メラニンによる VA の吸着
   （1） 毛髪よりメラニンの分離
   （2） 黒肝よりメラニンの分離

（3） 吸着試験に使用した VA
（4） メラニンと VA との吸着
（i） 予備実験
（ii） 流下法による吸着
（5） 実験結果の考察
3. メラニン其の他の物質による VA の吸着（静置法）
（イ） 油脂溶媒における吸着
（i） 吸着媒
（ii） 吸着の方式
（ロ） 水溶液に於ける吸着
（ハ） 水溶化 VA と物質の吸着能に及ぼす pH の影響
（ニ） メラニン其の他の物質と肝油中の VA との吸着
4. メラニンの吸着は Freundlich の吸着式に適合するか？
III 考　　察
IV メラニンと星細胞との関係
V 摘　　要
VI 文　　献

I. 緒　　言

第1報[1]に於てアブラザメ（肝・腎・脾），ヨシキリザメ，ネズミザメ，カツオ，メヌケ，スケソウダラ，メジマグロ（各肝）及びアブラガレイ（肝・幽門垂・腸）に於ける脂肪の存在状態を組織化学的に観察し、またアブラガレイ（幽・門重・腸），アブラザメ（肝）についてビタミン A の存在位置をオスミウム-GDH 法により検索した。

それによるとアブラザメに於ては、肝油中にも勿論脂溶性の形で ビタミンA —以下 VA と記す— は存在するが、脂肪を或る程度除いた肝組織中にも可なり 濃厚に検出されること、殊に肝細胞よりも寧ろメラニン色素細胞の周囲に濃く VAの反応が現われることから、VA はメラニン色素細胞と強い親和状態に存在するのではあるまいか、すなわち所謂黒肝—メラニン色素を多量に含む— が白肝 —メラニン色素に乏しい— よりも VA含有量が常に多いのは、この理由に基くのではあるまいかと考えた。

今回はこの考えを確かめるために二三の角度から実験を試みたので、その結果について報告する。

II. 実 験 之 部

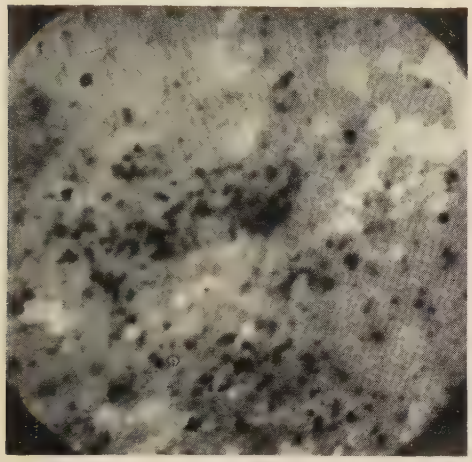
1. 黒肝・白肝磨砕物をエーテル抽出し肝油と VA との抽出速度を比較する方法

この方法の狙いは黒肝及び白肝磨砕物の一定量を一定量のエーテルで同一条件で数回抽出を繰返した場合に、若し黒肝・白肝により組織と VA との親和力に差があるならば、肝油と VA との

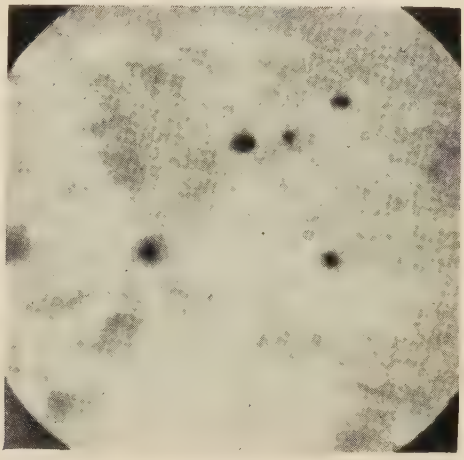
相対的抽出速度が違つてくるであろう、というにある。

材　料……最初は新鮮組織を直ちに実験に供することが出来なかつたため、10%ホルマリン漬したものを用いた。実験は試料採集後低温（5° C）に貯蔵し１週間以内に行つたが、脂肪およびVAは全然酸化または破壊を受けた形跡はなかつた。

方　法……試料肝臓を５g 内外とり、濾紙で軽く圧して水分を拭いとつて精秤したのち、これを乳鉢でよく磨砕しその極小部をとりスライドガラス上に薄く伸べて顕微鏡下に観察した(図１)。



黒肝　（×100）



白肝　（×400）

図1　アブラザメの黒肝及び白肝磨砕物の顕微鏡写真図

Fig. 1. Microscopic view of homogenate of black and white liver of the dog fish.

それによると、黒肝（左図）と白肝（右図）とでは明らかにメラニン顆粒の密度に著しい差が認められる。

つぎに磨砕物をその３～５倍量（V/W）の酸化物を除いたエーテルで毎回一定量を用いて数回抽出を行い、各回毎の抽出液は濾過して組織の小破片等を除き、共栓小コルベンに分画採取し、略々完全に抽出されたと見做されたときに抽出を止め、各画分を芒硝脱水したのちエーテルを留去し、真空吸引して残留した油を精秤し且つそのVA濃度を三塩化アンチモン－クロロホルム比色法によつて測定した。このようにしてアブラザメの黒肝と白肝の抽出曲線をつくり図２に示すような結果を得た。図２にはアブラザメの黒肝・白肝の他、マグロ・ネズミザメ肝を比較として掲げ、また対照として芒硝及び食塩に肝油を添加したものを同様にエーテル抽出した場合を示してある。

図２において、実線は抽出肝油のVA濃度 -CLOU, すなわち肝油1g 当りのVA濃度(A/O)—で、点線は肝油の毎回の抽出量を全抽出量に対する百分率で表わしたものである。

今、図２を見渡してみるに、含油量の多いアブラザメ肝臓（黒肝 39.5～58.5%*, 白肝 35.7～

* 黒肝（10%ホルマリン漬）の成分：水分32.0%, 油分50.2%, 含窒素有機物17.8%。

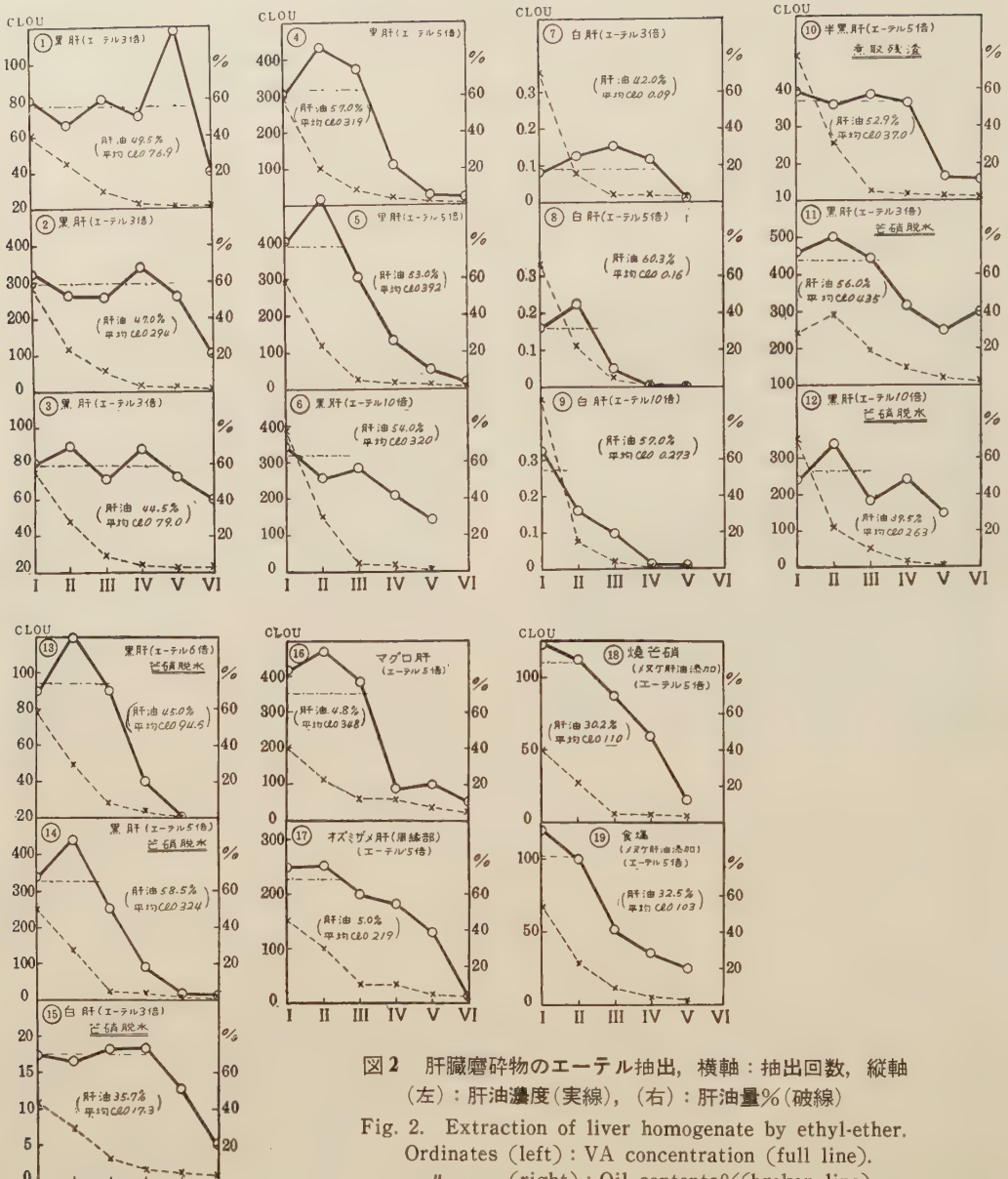


図2　肝臓磨砕物のエーテル抽出，横軸：抽出回数，縦軸（左）：肝油濃度（実線），（右）：肝油量%（破線）

Fig. 2. Extraction of liver homogenate by ethyl-ether.
Ordinates (left) : VA concentration (full line).
〃 (right) : Oil contents%(broken line).
Abscissa : Number of times of the extraction.

60.3**）では1回目の抽出で、全抽出量の50～60%，油の少いマグロ肝（4.8%），ネズミザメ肝周縁部（5.0%）でも約40%が抽出され、2回目には概して20～30%が抽出され、3回目には4～5%となり、6～7回目には実際上零となる。そして肝油の抽出曲線の傾向は大体に於てみな並行していることがわかる。

ところがVA濃度の曲線は肝臓の種類およびエーテル抽出の条件によつて可なり区々の形状を

** 白肝（10%ホルマリン漬）の成分：水分37.6%，油分46.5%，含窒素有機物15.9%

示しているが、大凡これを三つの型に分類することが出来る。すなわち、

i）VA 濃度の値が抽出の4～5回目まで低下しないで持続するもの

ii）VA 値の山（極大）が抽出の2～3回目に現われ、以後肝油の抽出曲線と並行して低下してゆくのもの

iii）VA 濃度の値が最初から肝油と並行して低下してゆくもの,

（i）に属するものには：①黒肝(エーテル3倍)，②黒肝(エーテル3倍)，③黒肝(エーテル3倍)，⑩半黒肝；煮取残渣(エーテル抽出5倍)，⑮白肝；芒硝脱水(エーテル3倍）が挙げられ、

（ii）に属するものとしては：④黒肝(エーテル5倍)，⑤黒肝(エーテル5倍)，⑦白肝(エーテル3倍)，⑧白肝(エーテル5倍)，⑪黒肝；芒硝脱水(エーテル3倍)，⑫黒肝；芒硝脱水(エーテル10倍)，⑬黒肝；芒硝脱水(エーテル6倍)，⑭黒肝；芒硝脱水(エーテル5倍)，⑯マグロ肝(エーテル5倍）などが有り、

(iii）に属するものとしては：⑥黒肝（エーテル10倍)，⑨白肝（エーテル10倍)，⑰ネズミザメ肝(周縁部)(エーテル5倍)、⑱焼芒硝(メヌケ肝油添加)（エーテル5倍)、⑲焼食塩（メヌケ肝油添加)(エーテル5倍）等が挙げられる。

つぎにこの三つの型の持つ意味について考察すると、今組織の含油量，水分，粗蛋白質量が略々等しく、エーテルの肝油及びVAの溶解力に余り差がないとすると、

（i）の型の肝臓では、肝油に比してVAが組織蛋白と緊密に吸着乃至親和していて容易に離れ難いことを意味し*

（ii）の型の肝臓では（i）よりは強くないけれども可なりの吸着力のある —肝油の平均CLOUよりも極大値のCLOUが遙かに高い— ことを示し、

(iii）の型の肝臓ではVAと組織との親和力は甚だ弱く、肝油と組織との親和力と殆んど変りがないことを意味しよう。

但しこのことは抽出するエーテルの量によつても異なりエーテル量が増せば(i）の型のものと雖も(ii）の型となり、更に増すと(iii）の型となる可能性のあることは、（i）(ii）(iii）に属する諸例の内容を検査すれば容易に首肯される。

またこれらの実験例では、芒硝を加えて脱水したものと、しないものとの差はホルマリン漬した肝臓の場合には現われ難い。寧ろ芒硝を加えたものの方がVAが抽出され難くなる傾向さえも窺われる⑫⑮。これはホルマリンの作用により肝蛋白が変性してすでに脱水状態になつているためではなかろうか。

この点を確かめ、芒硝の脱水効果を知るために、ヨシキリザメの生の肝臓を用いて実験した結果が図3である。

---

* 一定量のエーテルで肝臓から肝油とVAを抽出する場合，第1回目の抽出では肝油が多量に溶解してくるのでエーテルの抽出能力は飽和に近い。第2回，第3回と抽出が進むにしたがい，肝油の溶出量は減つてくるので，エーテルの抽出能力にゆとりが出来て，組織と吸着状態にあるVAもしだいに多く抽出されてくると考えれば一応説明がつくと思う。

すなわち図3の①はヨシキリザメ白肝(生)を磨砕し、この一定量を乳鉢にとり5倍量(v/w)のエーテルを加えて、磨砕しつゝ抽出して行き—このとき肝磨砕物はゾル状となりVAは却々抽出され難い—5回目に至つて抽出残渣に対して等量の無水芒硝を加えて乳鉢で磨り、エーテルを加えて抽出するとVAの抽出量が急激に上昇するのが認められる。

図3の②は生のヨシキリ肝を最初から芒硝脱水して5倍量のエーテルで抽出した場合を示し、③はヨシキリ肝をホルマリンに1昼夜浸漬したのち、5倍量のエーテルで抽出を行なつた場合を示すものである。

以上の実験に徴して知るように、ホルマリン固定した場合は蛋白の変性—蛋白分子の官能基間にメチレンブリッジ $H-(-O-CH_2-)_n-OH$ がかゝる[2]—によりVAと組織蛋白との結合になにがしかの影響があることが想像され、また無水芒硝を加えるとVAと組織との親和力が弱められるという事実については無水芒硝の脱水作用によりエーテル自身のVA溶解力を増す* ことの外に、B.N. Boukine[3] も指摘しているように、VAと組織との間の何らかの結びつきを芒硝の脱水作用（乾燥）によつて切断する働きがあると考えられよう。

すなわち上に述べた抽出曲線の比較による方法では、肝組織とVAとの間には焼芒硝や焼食塩** とVAとの間よりは強い親和力が働いていることが云えるが、黒肝と白肝或いはアブラザメ肝と他の魚種の肝臓に於ける組織とVAとの吸着力の差を的確に比較することは難しいようである。

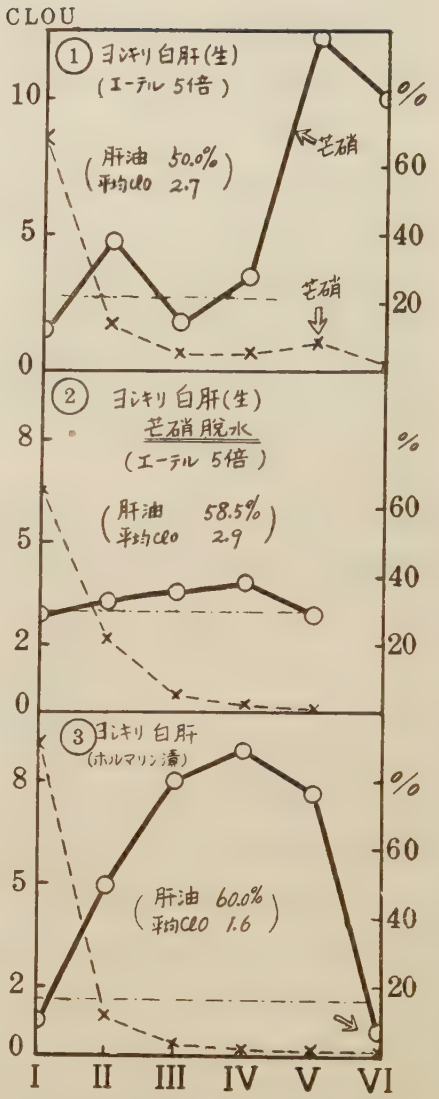


図3 ヨシキリザメ肝臓（生）のエーテル抽出
実線……VA濃度　横軸抽出回数
破線……肝油量%

Fig. 3. Extraction of raw liver of the blue shark by ethyl-ether.
full line…VA concentration.
broken line…Oil contents %.
Abscissa…Number of times of the extraction.

2. メラニンによるVAの吸着

アブラザメ肝臓中の黒褐色顆粒がメラニンであるらしいことを知つたので(第1報)、メラニン

* 常温において，エーテルは水を約1%，逆に水はエーテルを約10%溶解することが出来る[4]。したがつて，水を溶解しているエーテルはそれだけ油の溶解力は減少するわけである。

** 焼芒硝，焼食塩とは約600°C以上に灼熱して水分を完全に飛ばしたもの

とVAとを直接に接触せしめて吸着するかどうかを研究することにした。

（1） 毛髪よりメラニンの分離

先ず身近かに得られる毛髪—メラニンとケラチンの如き蛋白質との複合体と考えられる[5]—からメラニンを分離することを試みた。

方　法……水野[6]が牛眼葡萄膜からメラニンを分離活性化した方法に倣い、毛髪10gを2：1アルコール・エーテルにて脱脂したのち、30%苛性ソーダを加え37°Cの恒温室中で数日間消化させ、略々完全に溶解したとき濃塩酸を加えてpH 2～3にすると、黒色素と蛋白質の一部とが沈澱する。濾液はすて、沈澱を温浸遠心分離し、上清が中性になつたら100°C附近で乾燥する。乾燥した沈澱を濃硫酸20ccに加温溶解し、約5倍量の水中に滴下する（色素顆粒再沈澱）。上清が中性になるまで数回温浸し、沈澱に3%醋酸を加え2回温浸したのち、25%苛性カリで加温しながら1回洗滌、再び醋酸で洗滌し最後に上清が硝酸銀溶液で白濁しなくなるまで水洗する。得られた粗メラニンを80°Cの恒温器中で10時間乾燥し、除湿器に貯える（黒色無定形の物質、収量8.2%）。(註)

（2） 黒肝よりメラニンの分離

上記毛髪メラニンを分離する方法に従つたが、また次の方法にもよつた。すなわち

Sumner 及び Doudoroff[7] の方法及び Serra[8] の方法の組合せによるもので、試料を2：1アルコール・エーテルを用いて脂質を除いたのち、0.05 n-NaOH で数日間37°Cで消化する。

得られた黒色アルカリ溶液を濾過し、濾液を稀塩酸で中和し、生じた粗メラニンと蛋白の懸濁物を、炭酸カルシウム（微粉末）層を通してクロマト分離する。つぎに n-NaOH で展開すると粘稠性のメラニンが上層に吸着されて残るから、これを稀塩酸で処理して炭酸カルシウムと分離する。得られた粗メラニンを繰返し 0.05 n-NaOH に溶解し又稀塩酸で沈澱させ、最後によく水洗いして中性となつたときに80°Cの恒温器中で乾燥する。

（3） 吸着試験に使用した VA

英国 Light & Co. Ltd. 製の VA acetate cryst. を使用した。このものは淡黄色不透明結晶状の物質で冷水，アルコール，エーテル，クロロホルム等に難溶。鹸化してAアルコールとして吸収を測定すると325mμに吸収極大を有し、単位は176,000 U.S.P.U. であつた。恐らく Tween 40の如き界面活性剤を附加してあるものと思われる。10%醋酸または0.5% KOH と共に湯煎上で加温すると溶解して半透明微黄色の乳濁液となる。

（4） メラニンとVAとの吸着

上記の方法で夫々分離した毛髪メラニン，黒肝メラニン及び対照として活性炭を用いて、VAとの吸着試験を行つた。

（i） 予備実験

（註） 最近，船津等[9]（1957）も毛髪を濃硫酸で処理して S-melanin を，1n 苛性ソーダで処理して B-melanin を夫々調製している。

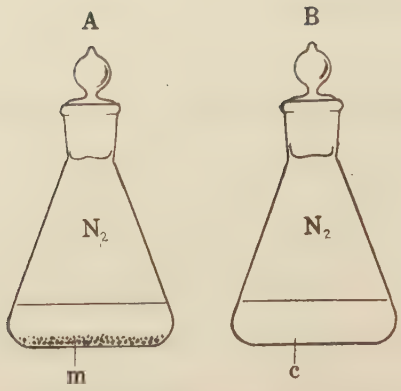


図4　予備実験
Fig. 4. Preliminary experiment.
m : melanin　　c : control

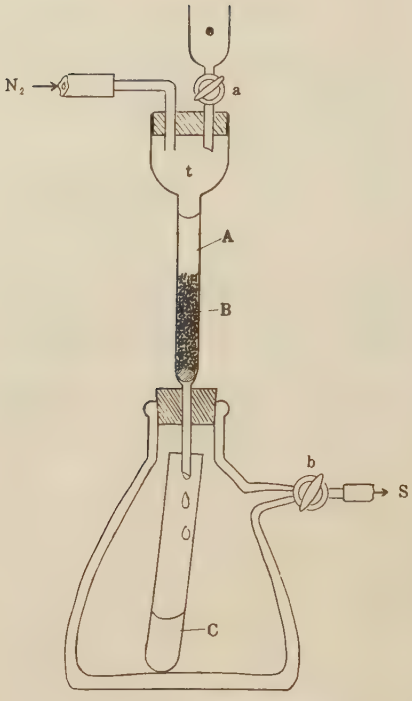


図5　流下式吸着実験装置
Fig. 5. Equipment of adsorptive experiment with a flowing system.

VA acetate cryst 0.0345g を 10% 醋酸に温めて溶かし、これを 50cc のメスフラスコにて定容とする(このときの pH 3.2)。

この溶液を 2 個の 50cc 容の三角フラスコ (共栓) に 10cc づつ ピペットで注入し、一方には 毛髪メラニン 0.0385g を加え(A)、他方にはメラニンを加えずに(B) 双方に N_2 を通じよく振盪して10分間放置する(図 4)。

その後 (A) のメラニンと VA acetate 溶液を濾別し、濾液を 10cc ピペットにとり褐色スキップ形分液濾斗に入れ、10cc のクロロホルムを加え、静かに振盪して VA をクロロホルム層に転溶せしめる。ついで三塩化アンチモン法により青色度を測定する。対照 (B) も同様にして 10cc をとりクロロホルムに転溶して青色度を測定する。その結果

A (メラニン添加)——→クロロホルム転溶 (10cc)

クロロホルム転溶液 0.5cc ——→ $SbCl_3$–$CHCl_3$ 溶液 4.5cc

青色度 (B) = 0.4, 0.4

$$CLOU = \frac{\text{青色度 (B)}}{\text{VA acetate (\%)}} \times 2 = \frac{0.4}{0.069} \times 2 = 11.6$$

B (対照) ——→ クロロホルム 10cc に転溶

クロロホルム転溶液 0.5cc ——→ $SbCl_3$–$CHCl_3$ 溶液 4.5cc

青色度 (B) = 3.0, 3.5

$$CLOU = \frac{\text{青色度 (B)}}{\text{VA acetate (\%)}} \times 2 = \frac{3.25}{0.069} \times 2 = 95.0$$

すなわち、メラニン添加の方が対照よりも著しく VA acetate 溶液の濃度が減少していることがわかつた。

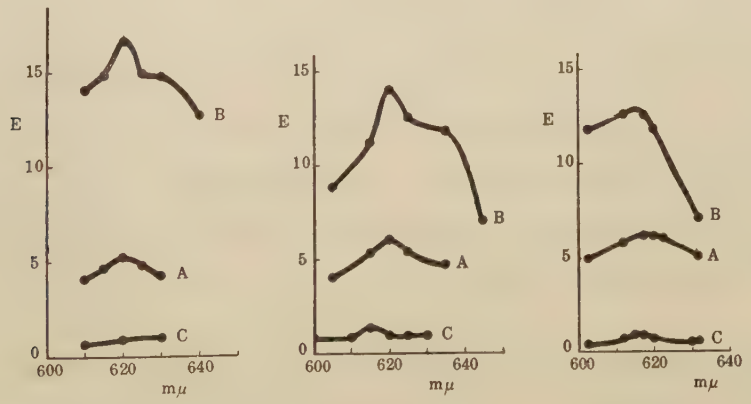
（ii） 流下法による吸着

（i）の実験だけではVAがメラニンによつて果して吸着されて減小したのか、酸化或いはメラニンとの接触によつて破壊的変化を受けたためであるかどうかわからない。そこで著者は図5に示すような装置を工夫してこのことを確める実験を行つた。すなわち、図5のような硝子製のクロマト管（t）に粗メラニンを入れ、内部をあらかじめピロガロール層及び硫酸層を通して精製した窒素ガス（N_2）にて置換しておく。

つぎに注入口（e）より VA acetate 溶液*（はじめに cryst. を 0.5% KOH に溶かしつぎに H_3PO_4 を加えて中和する，pH 7.2 附近に調節）10cc を入れ、コック（a）を開いて空気の入らないように注意しながらクロマト管に入れる。つぎにコック（b）を開いて水流ポンプ（S）で徐々に吸引しながらVA溶液をメラニン層を貫流させる。

而して原溶液（A）とメラニン層を貫流し下の試験管に溜つた溶液（C）は夫々 10cc づゝのクロロホルムに転溶し、メラニン吸着相（B）はエーテル 50cc で抽出しエーテルを留去した部分を同様にクロロホルム 10cc に転溶し、クロロホルム溶液の一定量をとり、$SbCl_3$ 試薬を加えて反応させたのち、20秒以内に Beckman DU 型分光光度計にて 620mμ 及びその近傍の吸光係数を測定した。

このようにして、毛髪メラニン，黒肝メラニン及び活性炭について夫々実験し吸収曲線を画け



活性炭
VA acetate cryst. 0.0537g
Active carbon 0.1980g

毛髪メラニン
VA acetate cryst. 0.064g
Hair melanin 0.223g

黒肝メラニン
VA acetate cryst. 0.0595g
Black liver melanin 0.377g

図6　活性炭，毛髪メラニン，黒肝メラニンによる VA-acetate 水溶液の吸着
（A） 原溶液，Original VA acetate solution.
（B） 吸着され且エーテルにて溶出された VA; VA adsorped by melanin or active carbon (eluted by ether).
（C） 吸着されない部分; Fraction don't adsorped by melanin or active carbon.

Fig. 6. Adsorption of VA acetate aqueous solution by active carbon, hair melanin and liver melanin.

* 原溶液（A）

ば図6に示す通りである。

実験の条件については夫々図6の脚註に記載してある。

（5） 実験結果の考察

以上の予備実験及び流下実験から大体次のことがわかつた。

（i） ビタミンAはメラニンによつて可なり強く吸着される*。 活性炭と同様に。

（ii） 吸着されたVAは酸化またはメラニンとの接触により破壊せられることなくエーテルで脱着することが出来る。**

(iii) 吸着力はメラニン調製の条件によつて異ると思われるが、この実験の範囲では、凡そ活性炭を1とすれば、毛髪メラニンが0.8, 黒肝メラニンは0.7位の程度である（大体の目測）。

尙、吸着された VA acetate の力価が原溶液（A）よりも大きく出ているのは、原溶液10ccをクロロホルム10ccで1回抽出したのみであり、原溶液中の VA が完全にクロロホルムへ転溶されないためと解される。反之。メラニン又は活性炭層を通過することによつて原溶液中のVAは殆んど完全に吸着され且つ吸着されたVAは充分量のエーテルにて略々完全に溶出されたために吸着物のVAが却つて原溶液よりも高値に出たのであろう。

併し活性炭，毛髪メラニン共に、原溶液（A）及び吸着物（B）の吸収曲線の吸収極大の位置は何れも618～620mμに在り、吸着前と吸着後とでVAの性質が変化を蒙らなかつたことが明らかである。但し黒肝メラニンの場合は吸着後に於てVAの peak は若干低波長側に移つて幾何かの酸化が行われたのではないかという疑いがある。

以上の実験により、定性的には吸着の前後に於てVAの性状に重大なる変化は起らないことが確かめられたが、この流下式による吸着は吸着媒の全表面が平等に使用されないかも知れぬ欠点があるので（図7）、次に静置式吸着による試験を行つた。

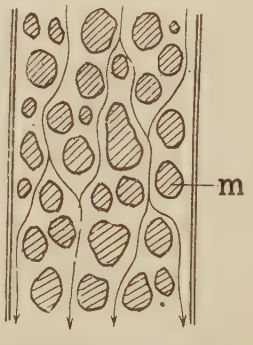


図7 流下の模様
Fig. 7. Pattern of flowing through melanin particle.

3. メラニン其の他の物質によるVAの吸着（静置法）

前述の実験によつて大体メラニンとVAとが可なりの吸着性を持つことが実証されたが、今回は更にその吸着力がどの程度であるかを知るために、油脂溶媒及び水溶液中に於て活性炭，カゼイン，ゼラチン，寒天，硝子粉，脱脂綿等諸物質との吸着力を比較することにした。

（イ） 油脂溶媒における吸着

（i） 吸着媒

活性炭……10%塩酸で洗い次に蒸留水で塩素の反応がなくなるまでよく水洗し120°Cで乾

* 吸着相を通した残りの濾液は殆んどVAの吸収を示さない。
** 原溶液と吸着物とのVAの吸収極大の位置が変らない（618～620mμ）。

燥する。

毛髪メラニン……§2の(1)で述べた方法で調製

肝蛋白(Soluble)……アブラザメの肝組織を2：1アルコール・エーテルで脱脂し之を3％苛性アルカリで60°C内外で数時間加熱攪拌溶解させたのち、稀塩酸を加えpH3附近で沈降する部分（メラニンはこの部分にくる）を遠心分離して除いた母液を0.5％苛性アルカリで中和し、沈澱した蛋白(pH6附近)をセロハン膜透析して塩分を除き、つぎに遠心分離し110°Cで乾燥粉末とする。

カゼイン……局方品をエーテル脱脂100°Cで乾燥。

ゼラチン……黄褐色，粒状稍々にかわに近いもの、100°Cで乾燥。

寒天末……人工粉末寒天を100°Cで乾燥したもの。

硝子粉……ピペットの破片をクロム硫酸で洗滌しメノウ乳鉢で磨砕したもの。

脱脂綿……100°Cで乾燥して用う。

以上の吸着媒を使用に先立ち、メノウ乳鉢で更によく磨砕し、60メッシュ標準篩を通して用いた。

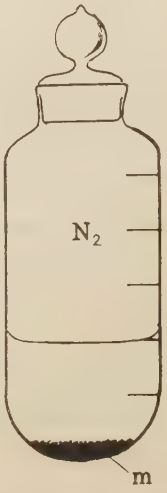


図8　共栓遠沈管

（ii）　吸着の方式

50cc容の共栓遠沈管（図8）にVA palmitate（100γ/cc* 前後）の石油エーテル（P.E.）溶液20ccづゝをとり、これに(i)で述べた吸着媒を夫々0.1gづゝ精秤して投入、窒素ボンベよりピロガロール及び硫酸層を通して精製したN_2ガスを通じ、密栓（パラフィン封じ）したのち、3分間烈しく振盪し、4～5°Cの冷室内に約1昼夜静置し、このとき上清は大抵透明となるが若しならないときは遠心分離または濾紙で濾過したのち、上清を静かに注意してピペットにて一定量(5cc)を吸い取り、上清中のVA量をベックマンDU型分光光度計（328mμの吸収部）で測定し、同様に処理した対照との差より各吸着媒による吸着量を算出した。その結果は表3に示す通りである。

すなわち、これによつて見ると毛髪メラニンのVA palmitateに対するP.E.溶液中での吸着率は平均57.3％で活性炭の88.0％には及ばないが、カゼインの11.9％，肝蛋白3.4％，ゼラチン2.8％，寒天末2.2％，硝子粉1.1％，脱脂綿0.9％などよりは遙かに大きいことがわかる。

（ロ）　水溶液に於ける吸着

つぎにVA palmitate水溶化物（Tween 80** による）の吸着状況をしらべた。

（方法）　約0.05gのVA palmitateをtween 80 約1gに溶解しておき、これに水を加えて100ccの水溶液をつくる。この20ccづゝを共栓遠沈管にとり、吸着媒の一定量(0.1g)を秤取し

*$x\gamma$/cc＝単位×0.3×g÷100

** Poyoxyethylene Sorbitan Monooleate

表 3　VA palmitate 石油エーテル溶液と諸物質との吸着（P.E. 溶液 20cc）

Table 3. Adsorption between VA palmitate petroleum ether solution and melanin or other substances.

試料	同 (g)	A 初濃度 (γ/cc)	上清A濃度 (γ/cc)	吸着量 (γ/g)	吸着率* (%)	摘要
活性炭	0.1	136.0	16.2	24000	88.0	88.0%
〃	0.1	125.0	20.6	20880	83.0	
〃	0.1	98.5	7.4	18200	92.0	
毛髪メラニン	0.1	136.0	29.5	21400	86.0	57.3%
〃	0.1	125.0	104.7	4060	16.2	
〃	0.1	102.0	61.0	8200	40.0	
〃	0.1	68.0	23.4	8800	66.0	
〃	0.1	34.0	7.3	5320	78.5	
カゼイン	0.1	125.0	111.0	2800	11.2	11.9%
〃	0.1	98.5	86.0	2500	12.6	
肝蛋白	0.1	126.0	121.7	860	3.4	
ゼラチン	0.1	126.0	122.5	700	2.8	
寒天末	0.1	126.0	123.2	680	2.2	
硝子粉	0.1	136.0	135.5	100	0.4	1.1%
〃	0.1	126.0	123.8	440	1.7	
脱脂綿	0.1	136.0	135.1	180	0.7	0.9%
〃	0.1	126.0	124.8	240	1.0	

表 4　VA palmitate** 水溶化物と諸物質との吸着（水溶液 20cc）

Table 4. Adsorption between VA palmitate water solution and melanin or other substances.

試料	同 (g)	A 初濃度 (γ/cc)	上清A濃度 (γ/cc)	吸着量 (γ/g)	吸着率 (%)	摘要
活性炭	0.1	106.0	61.0	9000	42.5	57.5%
〃	0.1	31.5	9.8	4350	68.0	
毛髪メラニン	0.1	106.0	76.0	6000	28.3	27.5%
〃	0.1	89.5	62.0	5500	30.7	
〃	0.1	31.5	24.0	1500	24.0	
カゼイン	0.1	106.0	97.0	1800	8.5	8.3%
〃	0.1	89.5	82.0	1500	8.4	
〃	0.1	31.5	29.0	500	7.9	
肝蛋白	0.1	89.5	82.0	1500	8.4	稍々溶解
ゼラチン	0.1	89.5	—	—	—	溶解
寒天末	0.1	89.5	83.8	1150	6.4	
硝子粉	0.1	89.5	84.5	1000	5.6	
脱脂綿	0.1	89.5	84.2	1050	5.9	

* 吸着率 $= \frac{\text{A初濃度} - \text{上清A濃度}}{\text{A初濃度}} \times 100$

** 供試 VA palmitate 水溶液の pH は 5.8 であつた。

て投入し、N_2ガスを通じ密栓、振盪して4～5°Cの冷室内に約一昼夜静置したのち、上清のVA濃度を測定する。

上清A濃度の測定は、上清を静かにピペットで5ccづゝとり、これに無水芒硝5gを加え —このとき芒硝の脱水力はtween 80のために妨げられるが、エーテルを加えると俄かに脱水力を発現する— 過酸化物を除いたエーテル65ccを用いて数回に分けて抽出し、エーテルを留去し、残留物をイソプロパノールに溶して、328mμの吸収を測定する。

実験結果は表4に示す通りである。

表4に見る如く、活性炭，毛髪メラニンの順に吸着力が強いことは油脂溶媒の場合と変りがないが、夫々57.5%, 27.5%と吸着率は落ち、肝蛋白はカゼインと略々等しい8%前後の吸着率を示している。ゼラチンは水溶液に溶解したため測定出来ず、寒天粉，硝子粉，脱脂綿の吸着率は上昇して夫々6%前後となつている。

このことは恐らく吸着媒が、活性炭や毛髪メラニンの場合は水分子との吸着によつてVAの吸着が妨げられ、寒天や硝子粉や脱脂綿では逆に水分子の介在によつて幾分吸着力が増すためであろう。

本実験に於ける水溶液のpHは5.8附近であり、とくにpHの調節は行わなかつた。併し一般に水溶液に於る化学反応はpHの影響を受けるので、つぎにこの吸着作用に対するpHの影響を見ることにした。

(ハ) 水溶化VAと物質の吸着能に及ぼすpHの影響

VA palmitateのtween 80による水溶化物と物質の吸着能がpHによつて如何に影響されるかを吸着媒として活性炭を用いてしらべた。

すなわちVA palmitate 0.0545gをtween 80 1.1360gに溶し水を加えて100ccに満したものを原液とし、これを20ccづゝ共栓遠沈管にとり、稀H_3PO_4及び0.5% KOHを用いて3.8～8.5の範囲の種々のpH価に調節* した。

かくして0.1g活性炭づゝを投入し窒素ガスを通じ、密栓振盪後4～5°Cの冷室に1昼夜静置したのち、上清A濃度を測定し表5 (a) (b)に示すような結果を得た。

水溶液中のVAの定量は前項で述べたように、その5ccをとり無水芒硝5gを加えエーテル65ccで抽出し、エーテルを留去したのちイソプロパノールに溶して328mμの吸光度を分光光度計で測定する。

表5 (a) (b)に示すように、pHと共に活性炭による水溶性VAの吸着量(γ/g)及び吸着率(%)は可なり不規則な変化をしているがこれを図示して見ると図9のようになる。

いま、点のばらつきを曲線で平均化すると可なり規則的な形となる。すなわち、酸性側では、2.5～5.0位までは吸着率は略々一定であるが、6から7にかけて漸減し、中性点附近で極小とな

* 東洋濾紙KK製pHテスト紙使用

表5(a)　VA palmitate と活性炭の吸着と pH との関係　(20cc 使用)

Table 5 (a)　*Influence of pH upon the adsorptivity of VA palmitate by active carbon

pH	活性炭 (g)	A初濃度 (γ/cc)	上清A濃度 (γ/cc)	吸着量 (γ/g)	吸着率 (%)	備考
2.4	0.1	102.0	41.5	12100	59.0	
2.9	0.1	102.0	37.0	13000	63.5	
3.6	0.1	102.0	37.6	12900	63.0	
4.9	0.1	102.0	33.7	13600	66.5	
6.0	0.1	102.0	39.5	12400	60.5	
7.1	0.1	102.0	44.6	11400	56.0	
8.4	0.1	102.0	36.8	13000	63.2	

表5(b)　VA palmitate と活性炭の吸着と pH との関係　(20cc 使用)

Table 5 (b)

pH	活性炭 (g)	A初濃度 (γ/cc)	上清A濃度 (γ/cc)	吸着量 (γ/g)	吸着率 (%)	備考
2.5	0.1	142.2	44.0	19800	69.5	
3.1	0.1	142.2	45.5	19300	68.0	
4.0	0.1	142.2	49.2	18500	65.0	
5.2	0.1	142.2	46.5	19000	67.0	
5.9	0.1	142.2	46.0	19200	67.5	
6.8	0.1	142.2	55.0	17400	61.0	
8.6	0.1	142.2	52.0	18000	63.0	

り、7～8とアルカリ側に行くにつれて再び上昇するように見える。

併しこれだけでは活性炭とVAとの吸着がpHに影響されるのか、水溶性のVAをエーテルで抽出するときの移行性がpHに左右されるのかわからないので、活性炭を加えないで同様の実験を行なつて見た。

それによると表6の左半に示すように、活性炭を加えない場合でもすでにpHによつてA初濃

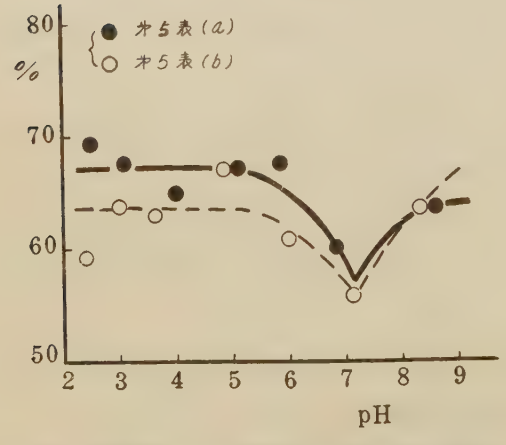


図9　活性炭のVA吸着率に及ぼすpHの影響

Fig. 9.　Influence of pH upon the adsorptivity of VA by active carbon.

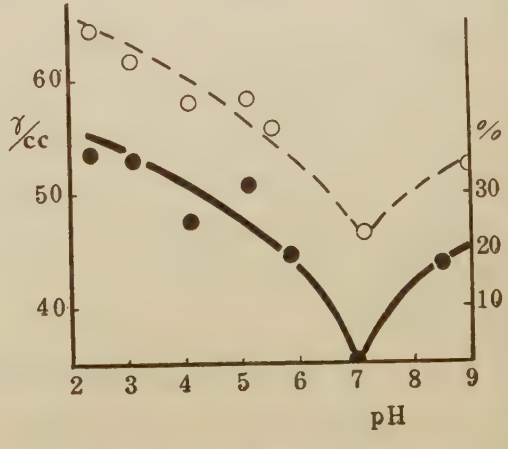


図10　pHによるA初濃度の値の変化(破線)と吸着率の補正値(実線)

Fig. 10.　Change of initial value of VA conc. by pH and the corrected value of adsorped VA.

表6　活性炭を加えないときの VA の検出率に及ぼす pH の影響

Table 6. Influence of pH upon the detectivity of VA when active carbon is not added.

pH	A初濃度 USPU	A初濃度 γ/cc	活性炭 (g)	上清A濃度 (γ/cc)*	吸着量 (γ/g)	吸着率 (%)
2.4	790,000	64	0.1	42.8	4250	37
3.1	765,000	62	0.1	41.3	4130	36
4.2	715,000	58	0.1	43.4	2920	25.5
5.2	715,000	58	0.1	40.1	3580	31
5.6	688,000	56	0.1	42.8	2240	19.4
∘7.3	609,000	49	—	49.8	ca 0	ca 0
9.0	681,000	55	0.1	44.4	2120	18.4

*　表5(a)(b)の平均値,　　∘ control

度の値が異なつて出ることがわかつた。

そこで表5(a)(b)および図9の結果はA初濃度が pH によつて変らないものとして計算したものである故、この点補正をしなければ真の活性炭のみの影響が出ないわけである。

表6の右半及び図10は表5(a)(b)の上清A濃度の平均値と表6のA初濃度の値を用いて補正したところのpH と活性炭による水溶性Aの吸着率との相対的関係を表わしたものである。図の点線で示すように、活性炭による水溶性Aの吸着率は中性点に於て最も小さく、酸性及びアルカリ側に傾くに従つて、しだいに増大する傾向である。

すなわち水溶性Aのエーテル層への移行率は pH によつて影響されるが、この影響を差引いても、矢張り吸着媒（活性炭）の吸着能に対する pH の影響が認められる。

このことは恐らく tween 80 が中性の表面活性剤であるため、pH 7 附近において最もよくVAを溶解し、酸またはアルカリ側に傾くに従つて VA の溶解度が減小するので、吸着媒による VA の吸着され方は中性点附近に於て最も弱く、酸性またはアルカリ側に於て増大するためであろう。VA のエーテル層への移行も溶解度の大きい中性点に於て極小で、溶解度の小さい酸及びアルカリ側に行くにつれて増大するものと考えられる。

すなわち VA に対する吸着媒の吸着能と pH との関係は直接的のものではなく、pH による水溶化Aの溶解度の変化に基く間接的のものであるらしい。

（ニ）　メラニン其の他の物質と肝油中の VA との吸着

石油エーテルを溶媒とした場合のアブラザメ肝油と活性炭，毛髪メラニン，肝蛋白，ゼラチン寒天末，硝子粉及び脱脂綿との吸着態度について実験した。

（方法）　アブラザメ肝油（9000 USPU 及び 30000 USPU の2種）を夫々 1.53% 及び 1.0% 前後の濃度に石油エーテルに溶解したものを原液とし、これを共栓遠沈管に 20cc づゝとり、吸着媒 0.1g づゝを投入、窒素ガスを通じ密栓振盪したのち、4～5°C の冷室に1昼夜静置して、上清A濃度を吸収スペクトル法によつて測定した。

実験の結果は表7に示す通りである。

表7　アブラザメ肝油（P.E. 溶液）と諸物質との吸着　（P.E. 溶液 20cc）

Table 7. Adsorption between VA in liver oil (P.E. Solution) and melanin or other substances.

試料	同 (g)	A 初濃度 (γ/cc)	上清A濃度 (γ/cc)	吸着量 (γ/g)	吸着率 (%)	摘要
活性炭	0.1	43.0	34.0	1700	19.8	22.7%
〃	0.1	36.5	27.2	1860	25.5	
毛髪メラニン	0.1	41.5	36.0	1100	13.2	24.2%
〃	0.1	94.0	82.0	2400	12.4	
〃	0.1	47.0	24.8	4400	47.0	
肝蛋白	0.1	41.5	37.0	900	10.8	10.5%
〃	0.1	41.5	37.2	860	10.3	
ゼラチン	0.1	41.5	37.2	860	10.3	
寒天末	0.1	41.5	39.5	400	4.8	4.0%
〃	0.1	94.0	91.0	600	3.2	
硝子粉	0.1	41.5	41.5	0	0	
脱脂綿	0.1	41.5	40.5	200	2.4	3.7%
〃	0.1	88.0	84.0	800	5.0	

これによつて見るように活性炭及び毛髪メラニンの吸着力は水溶液の場合よりも更に低下し、夫々 22.7% 及び 24.2% となり、肝蛋白・ゼラチンは共に10%内外でこれにつぎ、寒天末・脱脂綿が 4%内外で硝子粉は殆んど全く吸着力を示さなくなつている。

これは恐らく肝油のグリセライドが VA の吸着を妨げていることを物語るものであろう。

4. メラニンの吸着は Freundlich[10] の吸着式に適合するか？

一般に溶質の溶液内部に於ける濃度（C）と吸着層に於ける濃度 $\left(\frac{x}{m}\right)$ との間には

$$\frac{x}{m} = k C^{1/n} \cdots\cdots \qquad (1)\ \text{(Freundlich の式)}$$

の関係式が成り立つが、メラニンと VA との吸着の場合にも（1）式が満足されるかどうかを知るために、毛髪メラニンと VA acetate を用いて実験を行つた。

（実験方法）　共栓遠沈管に種々の濃度に溶解した VA acetate 水溶液 10cc づゝをとり、これに毛髪メラニン各々 20mg づゝを投入し、窒素ガスを通じてよく振盪吸着させたのち、10°C で 1時間放置し、上清を濾過し、吸着層をエーテル 50cc にて抽出しエーテルを留去して、残留した VA をクロロホルムに溶かし、三塩化アンチモン試薬を加えて発色させ、速かに 620mμ の吸収を測定し、表8に示すような結果を得た。

これを図示すれば図11 (a) (b) の如くである。

$$\frac{x}{m} = k C^{1/n} \qquad \cdots\cdots (1)$$

に適合するかどうかは（1）式の両辺の対数をとり

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \qquad \cdots\cdots (2)$$

（註）mは吸着媒の重量

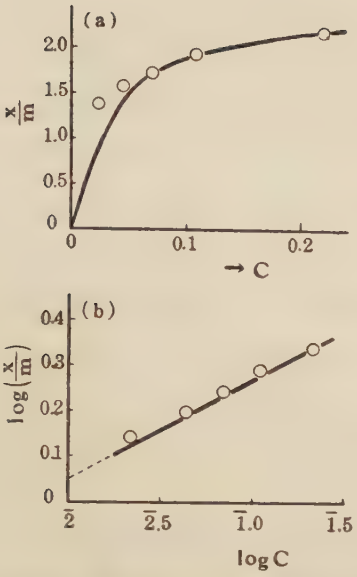


図11　毛髪メラニンと水溶性Aとの吸着

Fig. 11. Adsorption between hair melanin and water soluble VA.

表8 (Table 8)

VA acetate (C)	log C	$\left(\frac{x}{m}\right)^*$	log $\left(\frac{x}{m}\right)$
0.0222%	$\bar{2}.35$	1.45	0.16
0.0445	$\bar{2}.65$	1.55	0.19
0.0670	$\bar{2}.83$	1.65	0.23
0.1110	$\bar{1}.05$	1.90	0.28
0.2220	$\bar{1}.35$	2.10	0.33

* $E^{1\%}_{1cm}$ 620mμ の値

の直線関係を満足するかどうかを見ればよいから、表8の数値を使つて図11 (a) (b) を画くことにより、(2) 式の直線的関係が満足され従つて (1) 式が略々成立することがわかる。

而して図より

$$\frac{1}{n}=\frac{0.37-0.03}{1.5}=0.226,\quad k=0.89$$

この$\frac{1}{n}$の数値は多くの物質に対して0.1～0.5であるから、メラニンとVAとの吸着も一応普通の吸着現象と考えてもよいだろう。

尚、表3及び表4の上清A濃度の減小から間接に計算した活性炭，カゼイン及びメラニンのVA吸着量とA初濃度 (γ/cc) との関係を、P.E. 溶液及び水溶液 (tween 80 による) の場合について図示すれば図12の如くである。

この図からも大体活性炭，カゼイン及びメラニンとVAとの結びつきは吸着現象であり、且つA初濃度 100γ/cc，吸着媒の重量 0.1g 位で行えば maximum adsorption が得られることがわかる。

III. 考　　察

以上の実験によつてわかるように、吸着量 (γ/g) から判断して、油脂溶媒中で行つた場合も、水溶液中で行つた場合も VA palmitate に対する吸着力の順位は

活性炭＞毛髪メラニン＞カゼイン，肝蛋白，ゼラチン＞寒天末，硝子粉，脱脂綿

の順位であつた。

活性炭を除けばこの実験例では毛髪メラニンが最強で、カゼインがこれにつぎ肝蛋白及びゼラチンは稍々劣つて現われた。肝蛋白とゼラチン (にかわ) との両者は外観、臭、色等が共に酷似しており、吸着力も略々等しい値を示しているので成分も似ているのではあるまいかと想像される。

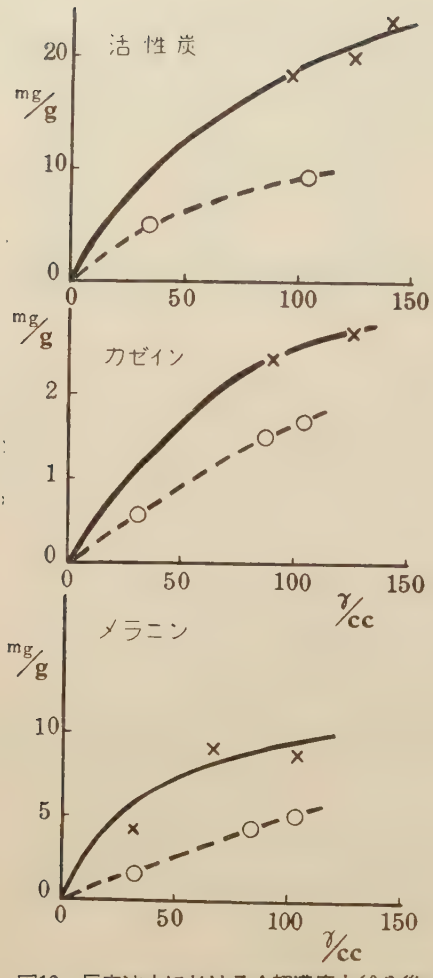


図12　反応液中に於けるA初濃度と60分後における吸着量との関係

Fig. 12. Relation between the initial value of VA conc. and adsorped amount after 60 min. in the reactive solution.

今回の実験に於ては、極く新鮮な黒肝が入手出来なかつたので、毛髪メラニンを以て黒肝メラニンの吸着能の試験を代表することにした。その理由として、毛髪メラニンは当然メラニンを濃厚に含むことは明らかであるので[8][9]、これと対比して黒肝メラニンについて次の諸反応[11][12]を行つたところ（表9）のように、何れもメラニンの反応を呈し、同一性状を有するものと考えられたからである。

勿論毛髪メラニンと黒肝メラニンとでは、分子の表面の構造や精製の条件によつて可なり吸着能の相異することはあろう。

けれども、以上試みた実験の結果から、メラニン（毛髪メラニンで代表）と VA との吸着は油脂溶媒の場合でも、水溶液の場合でも活性炭には及ばないが、カゼイン，ゼラチン，肝蛋白などの窒素化合物及び寒天，硝子粉，脱脂綿などとの吸着よりも遙かに強いと云える。

肝油中のAとこれらの物質との吸着はグリセライドの存在のため VA palmitate との場合よりも弱くなつているけれども、メラニンの吸着力は却つて活性炭を凌ぎ且つ肝蛋白やゼラチンの2倍以上，寒天末，硝子綿及び脱脂綿の5倍以上強いことがわかる（表7）。

以上は人工的に化学処理を加えて取り出したメラニン（毛髪・黒肝）と VA との吸着について述べたのであるが、実際アブラザメ等の肝臓に於て VA との吸着が起るのは多分生きている状態のメラニン細胞であり、人工的に取り出した場合には余程条件が異なつてくるであろうと想像される。

表9　毛髪メラニンと黒肝メラニンに対する諸反応の比較

	酸	アルカリ	油脂溶媒	3%過酸化水素	臭素水	1%硝酸銀
毛髪メラニン	不溶	不溶	不溶	2昼夜後脱色	24時間後脱色	黒染
黒肝メラニン	〃	〃	〃	24時間後脱色	〃	〃

この生きたメラニンとビタミンA（類縁物質カロチノイド）との吸着現象について伊藤[13][14]の興味深い研究がある。

氏は黒色出目金に hydroquinone の皮下注射を続けると約1カ月後には皮膚の色が赤色に変ずること、また赤色金魚に p-benzoquinone の注射を続けるとしだいに黒色に変化することを見、更に赤白斑の金魚の皮膚に p-benzoquinone を注射すると赤いところにだけ黒色素が沈着することを見ている。

このことはHQを注射して皮膚の基質を還元状態におくと、

$$\text{Tyrosin} \rightarrow \text{Dopa} \rightarrow \text{Dopaquinone} \rightarrow (\text{Intermediate}) \rightarrow \text{Melanin}^{[15][16]} \qquad \text{(I)}$$

（Tyrosinase* が Tyrosin→Dopa および Dopaquinone→(Intermediate) の矢印上に、Dopaoxidase が Dopaquinone→(Intermediate) の矢印下に対応）

に於ける Dopaoxidase の作用を制止する結果、後続するメラニンの沈着が起らないので、生地の赤色（Carotenoid）の儘でいるが、p-benzoquinone を注射して皮膚の基質を酸化の状態におくと、（I）の反応が進みメラニンの形成が行われるので黒色になる。

赤白斑の場合は赤（カロチノイド）のところにメラニンが出来て、白い部分に出来ないというのが非常に面白いところで、つまりカロチンはVAの母体—VAが2分子集まつて出来たもの—であつて、その分子中に10個の共軛二重結合を有している為にメラニンを吸着し易くなり、赤の斑のところにメラニンが選択的に集積されて黒色になると考えるとアブラザメの肝臓においてメラニン色素顆粒のところに、血液より送られて来たVAが集積するという考え方が或る程度裏付けられ甚だ興味が深い。

このようにメラニンは生活細胞にあつて酸化還元反応を伴うときに、はじめてその本来の機能が発揮されて吸着作用も強く行われるものであろうと考えれば、一応の説明がつくように思われる。

すなわち、メラニンとVAとが生活機能的に因果関係をもつて相接触して存在することも考えられる。

又一歩退いて、アブラザメ黒肝中にVAが濃いという現象とメラニン顆粒が多いという事象が独立の原因で並行して起つているのかも知れない。しかし仮りにそうであつたとしても生命を失つた後の組織に於て（著者の観察したのは死後の組織切片についてであつたから）、物理化学的の方則（その分子中に二重結合が多数存在するという）に従つてメラニンとVAとが吸着状態に於て存在することがあつても良い理である。

すなわち、肝組織に於けるVAとメラニン顆粒の存在の一致—GDH及びCarr-Price試薬で

---

* チロシナーゼは銅イオン又は鉄イオンによつて活性化されるもので，先に黒肝と白肝の組織を分析した際，黒肝組織中にとくに著量の鉄が検出されたことを考え合わせると甚だ興味が深い（第1報[17]：原料学的研究 18頁，第3表 アブラザメ肝臓の脂質以外の一般成分）。
(チロシナーゼが働くのはチロシンからドーパキノンまで)。

の所見による— が果して単なる物理化学的吸着現象であるか、或いは生活機能的必然性によるかは、猶今後に残された問題であるが、毛髪メラニンが相当に強い吸着力を示すことから推してメラニン色素顆粒を豊富にもつているアブラザメ肝臓の如きは、甚だVAを貯蔵し易い条件をそなえていると考えてもよかろう。

但しメラニンをもたない肝臓たとえばタラ，メスケ，アブラガレイ等にもVAは蓄積されるがこの場合は多くの研究者によつて証明されているように、肝細胞や星細胞が主として貯蔵場所で且つ Baumann et al[18] によると細胞原形質蛋白が VA を保持する役目をすると考えられるがメラニンが存在すれば、肝細胞と星細胞のみの場合よりも一層VAの保有力が増すであろうと考えられるわけである。

IV. メラニンと星細胞との関係*

生体内に於けるビタミンAの存在位置については多くの研究者によつて調べられ Querner[19], Hirt et al[20], 角・生田[21], 荒木・陳[22] 等の螢光顕微鏡による観察によれば VA は肝細胞および Kupffer の星細胞にとくに多量に存在することが述べられているが、メラニン細胞に存在することを報告したものはない。

著者はその後、メラニン細胞の形態及び肝組織中における出現位置について、東北大学農学部畜産学教室の鳥生芳行教授にアブラザメ黒肝の組織を仔細に観察して頂いた結果、図8 (a) (b) に示すように メラニン色素は Kupffer の星細胞を中心として形成されて行くものであるらしいという所見を得たので、ここに同教授の許可を得て報告する。

図13を見ると、星細胞の周囲にメラニン色素顆粒がしだいに集積して行くことがわかる。メラニン色素顆粒の甚だ多い細胞は核を失つて死んでいるものもある。細胞はつまりメラニン顆粒の

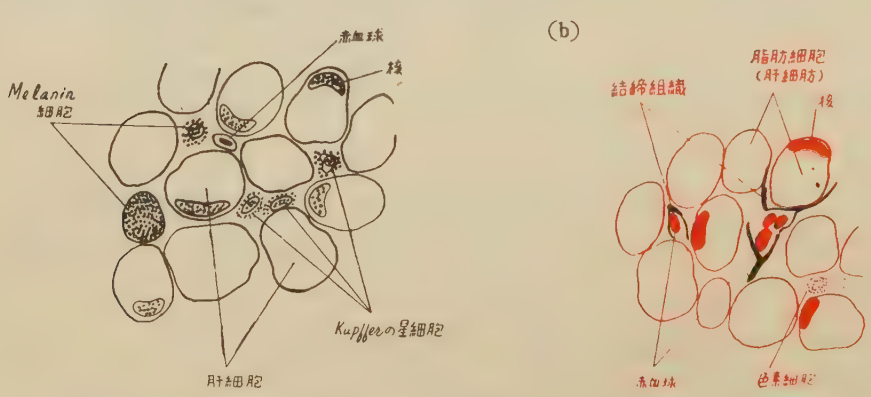


図13 (a) アブラザメ黒肝（パラフィン切片）（ヘマトキシリン-エオジン染色）
(b) 同 （マロリー-アザン染色）, 油浸 ×1000

Fig. 13. (a) Black liver of the dog fish (paraffin section) (hematoxylin-eosin stain)
(b) 〃 〃 (Malory-azan stain) (oil immersion, ×1000)

* 昭和32年4月 日本水産学会年会（於東京）にて講演

集まりでしかないようなものもある。

Kupffer の星細胞[23]は毛細管（細網内皮系）壁に存在するものであるから、血液から送られて来たVAは先ず星細胞にとられ、それから肝細胞に蓄積されると考えられる。一方メラニンも血液によつて運ばれたチロシンがチロシナーゼの作用によつてドーパ，ドーパキノンを経てメラニンとなつて星細胞の周囲に沈積するとすると、VA とメラニンとは星細胞を中心として生機的にも密接な関係を以て存在すると考えられるのである。

V. 摘　　要

1. アブラザメの黒肝と白肝より肝油及びVAをエーテル抽出しその抽出速度を比較した。併し黒肝と白肝とで肝油及びVAの抽出速度に決定的の差異を認めることは出来なかつた。
2. 毛髪より分離した粗メラニンを用いてVA (acetate 水溶液）と吸着するか否かを調べた。それによると、VA はメラニンと可なり強く吸着されることまた酸化分解を受けずに脱着（窒素ガス中，エーテルで）されることを、三塩化アンチモン法により 620mμ 附近の吸収曲線を測定して確かめた。
3. 上記2の実験を活性炭及び黒肝メラニンについても行つた。
4. 活性炭，毛髪メラニン，ガゼイン，肝蛋白，ゼラチン，寒天末，硝子粉及び脱脂綿等について、振盪静置法により VA palmitate の吸着能を油脂溶媒 (P.E.)， 水溶液（tween 80 にて水溶化）中に於て比較測定した。その結果油脂溶媒，水溶液何れの場合に於ても吸着能の順序は、活性炭＞毛髪メラニン＞カゼイン，肝蛋白，ゼラチン＞寒天末，硝子粉，脱脂綿の如くであつた。
5. 肝油（アブラザメ）中のVAとメラニン及びその他の物質の吸着をP.E. 溶液中にて行い、その吸着能は VA palmitate 単独の場合に比して劣るが、吸着能の順位は殆んど変らないことを見出した。
6. VA 水溶液に於ける活性炭の吸着能に及ぼす pH の影響について しらべた。 それによると pH 7 附近で吸着率は最小を示し、酸側及びアルカリ側に行くにつれて吸着率は上昇する傾向が見られた。
7. 毛髪メラニンと VA acetate との吸着は Freundlich の吸着式に適合することを確めた。
8. メラニンと星細胞との関係を組織化学的にしらべ、星細胞がメラニン細胞の起源であるらしいという所見を得た。

本研究に対し御指導を頂いた東北大学農学部土屋靖彦教授、吸着実験に対し御助言を頂いた東北大学工学部三井生喜雄教授、組織化学的研究に対し御教示を頂いた東北大学農学部鳥生芳行教授、本文を閲読して御注意を与えられた有山恒教授、種々御配慮と激励を頂いた木村所長、谷井利用部長、谷田増殖部長並に本実験に協力せられた武藤清一郎技官其他同僚諸氏に厚くお礼を申

し上げる。

尚本実験に使用したビタミンAパルミテートは理研ビタミン株式会社（社長上野庚次郎氏）の御寄贈に依るものであることを附記し御厚意を深謝致します。

VI. 文　　献

（1） 山村彌六郎：東北海区水産研究所研究報告　第5号，昭和30年10月.
（2） French, D and Edsall, J.T. : Advance in Protein Chem. II. 277p. (1945).
（3） Boukine, B.N. : 化学の領域 **7**, 519 (1953).
（4） 桑田　勉：溶剤（丸善），236p. (昭和22年).
（5） Serra, J.A. : Nature **157**, 771 (1946).
（6） 水野勝義：臨床眼科 **7**, 257 (1954).
（7） Sumner, F.B. and Doudoroff, P. : Biol. Bull. **84**, 187 (1943).
（8） Serra, J.A. (Denis L, Fox, Animal Biochromes and Structural colors, Cambridge (1953)).
（9） 船津勝・船津軍喜：農化 **31**, 4 (1957).
(10) Freundlich, H. : Kapillarchemie, I (1930)；玉虫文一：膠質化学（岩波全書）129p, (1939).
(11) L. リゾン：組織化学および細胞化学，403p (1954)
(12) 関　正次：組織検査法と物化学（杏林書院）193p, (1954).
(13) Ito M.　: Tohoku J. Exptl. Med. **55**, Suppl. (1), 104 (1952).
(14) 伊藤　実：皮膚のメラニン形成，最新医学 **10**, 945 (1955).
(15) Raper, H. : Biochem. J. **21**, 735 (1926)；**22**, 89 (1927).
(16) Mason, H. : J. Biol. Chem., **172**, 83 (1948)；**181**, 803 (1949).
(17) 山村彌六郎：サメのビタミンAに関する研究（I）東北水研 研報 第6号，昭和31年3月
(18) Baumann, C.A. et al : J. Biol. Chem. **142**, 597 (1942).
(19) Querner, F. and Sturm, K. : Anat. Anz. **78**, 289 (1934)；Querner, F. : Klin. Wochschr. **14**, 1213 (1935).
(20) Hirt, A. and Wimmer, K. : Klin. Wochshr. **18**, 733 (1940).
(21) 角　英雄・生田輝喜：生理生態 **2**-2, 69-80 (1948).
(22) 荒木正哉・陳　震東：ビタミン **11**, 253 (1956).
(23) 石沢政男：組織化学提要（1），145p（昭和29年).

東北水研 研究報告
第10号
Nov. 1957

ON THE NATURAL COORDINATE SYSTEM AND ITS APPLICATIONS TO THE KUROSHIO SYSTEM※

By
Hideo KAWAI
Tôhoku Regional Fisheries Research Laboratory
Shiogama, Miyagi Pref., Japan

ABSTRACT

In part I, the natural coordinate system, which is convenient for the dynamical treatment of the minute structure of the major current, is explained basing on the extended directional differentiation. The rule of exchanging the differentiation in the second order derivative is derived. Gradient, divergent and rotation are expressed by the natural coordinate system, and the general equation of frictionless motion in the natural coordinate system is derived. In the stationary isobaric frictionless current, the mechanical energy per unit mass ——the sum of kinetic energy and geopotential ($\phi = u^2/2 + \Omega$)—— is nothing else than the stream function of the absolute vorticity (Z) transport vector. Applying this result to the Kuroshio System, in part II the stream lines in the Kuroshio System to the east of Japan is prepared after supplementing the dynamic depth anomaly by the temperature data observed with BT. Further, from the Z-transport chart it is concluded that the Kuroshio Front at that time is branching into three parts at about 147°～149° E alloting little Z-transport to the middle course. Finally the relation between the velocity and the curvature along a stream line is treated from both theory and observation. In a channel of sine curve the top velocity on a traverse has a minimum value at crest and trough and a maximum at the mid-point between crest and trough. Generally, along a stream line on the left side of the jet axis the velocity increases with the increment of the anticyclonic curvature, and it decreases with the increment of the cyclonic curvature; while on the right side of the jet axis the opposite relation is established. In stormy weather, however, this relation is not established.

CONTENTS

PART I. DIRECTIONAL DIFFERENTIATION IN DYNAMIC OCEANOGRAPHY (ON THE CHARACTER OF THE SO-CALLED NATURAL COORDINATES)

§ 1. Introduction
§ 2. Orientation of the coordinate axes
§ 3. The extended directional differentiation

※ **Contribution No. 110 from the Tôhoku Regional Fisheries Research Laboratory.**

§ 4. Vector formulae in the natural coordinates
§ 5. Kinematical meaning of the directional differentiation
§ 6. General equation of motion in the natural coordinates
§ 7. Energy equation and vorticity equation
§ 8. The stream function in the stationary isobaric frictionless current
PART II. APPLICATIONS TO THE KUROSHIO SYSTEM
§ 9. Dynamic depth estimated from the upper water temperature
§ 10. Stream lines in the Kuroshio System to the east of Japan
§ 11. Vorticity transport and the Kuroshio Front
§ 12. Relation between the velocity and the curvatur along a stream line
§ 13. Conclusion
REFERENCES

PART I. DIRECTIONAL DIFFERENTIATION IN DYNAMIC OCEANOGRAPHY (ON THE CHARACTER OF THE SO-CALLED NATURAL COORDINATES)

§ 1. Introduction

Recent oceanographical observations with GEK and BT have thrown light upon the minute structures of the Kuroshio System and the Gulf Stream System. In order to deal with such fine structures dynamically it is convenient to adopt the so-called natural coordinate system, because this system is intimately connected with the motion, and each term in the equation expressed by the natural coordinate system has a physically or structurally clear meaning. Further, in order to compute the numerical differentiation of the observed data when the distribution of the observation station does not make lattice points in the sea, the method using the expression by the natural coordinates is sometimes preferable to that by the Cartesian coordinates.

So far as we know, the analytical treatment on the natural coordinate system used in meteorology as well as in oceanography has not been reported, and its wider application and further development are hindered. What can be the reason? There is no particular reason, but the natural coordinate system is essentially different from the curvilinear coordinate system in mathematics, so that its analytical treatment is not simple. Hence, so far, the geometrical intuition has played an important role in the process of expressing equations by the natural coordinate system (Holmboe, J. et al., 1945).

In part I of this paper at first the directional differentiation is extended assuming that the direction is not constant but is variable with respect to time and space, and the characters of the natural coordinates are treated basing on the extended directional differentiation, and finally the stream functions of the vorticity transport vector in the stationary isobaric frictionless current are derived. In part II some applications are presented.

§ 2. Orientation of the coordinate axes

We adopt, in this paper, two systems of the quasi-pressure coordinates; the one

is the Cartesian coordinate system and the other is the natural coordinate system, basing on the assumptions given below:

(A) The field of pressure is stationary.

(B) The sea surface and surfaces of equal depth from it are considered as isobaric surfaces.

(C) The curvature of each isobaric surface is neglected.

Though these assumptions are not inevitable in introducing the natural pressure coordinates, they are adopted in this paper only for the sake of brevity in the mathematical expression. The general treatment on the natural pressure coordinates without any assumption will be reported in the following paper.

Taking the x and the y axes on the sea surface, which is a standard isobaric surface of zero pressure, directed to the east and to the north respectively, it follows that the x-y plane is always parallel to the surface of equal depth from the sea surface on the basis of the above assumptions. Further taking the z axis orthogonal, positive upward, to each isobaric surface, it may be admitted to put

$$p = -\bar{\rho}gz = -1000\,z \text{ (in c.g.s. unit system)} \qquad (1)$$

after the reason that in practical oceanography we can not avoid to calculate dynamic depth or pressure regarding either of two as proportional to the geometrical depth z.

Now let $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ and $\mathbf{k}$ be the unit vectors along the x, y and z axes respectively, where they are constant vectors.

If a field of current vector is given at an instant three-dimensionally, and its isobaric component $(\mathbf{i}V_x+\mathbf{j}V_y)$ does not vanish, three directions of the natural coordinate axes are determined locally at each point as follows:

$\mathbf{t}$ is the unit vector of the isobaric current velocity vector $(\mathbf{i}V_x+\mathbf{j}V_y)$.

$\mathbf{n}$ is the unit vector lying on the same isobaric surface with $\mathbf{t}$ and perpendicular, positive counter-clockwise, to $\mathbf{t}$.

$\mathbf{k}$ is the same unit vector as in the Cartesian coordinate system.

Thus three directions of $\mathbf{t}$, $\mathbf{n}$ and $\mathbf{k}$ form locally a right-handed orthogonal system at each point.

Denoting the angle of $\mathbf{t}$ making with the x axis, positive counter-clockwise, by θ, we have

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{t} &= \mathbf{i}\cos\theta + \mathbf{j}\sin\theta \\ \mathbf{n} &= -\mathbf{i}\sin\theta + \mathbf{j}\cos\theta \\ \mathbf{k} &= \mathbf{t}\times\mathbf{n} \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

The unit vectors $\mathbf{t}$, $\mathbf{n}$ and $\mathbf{k}$ correspond to the unit tangent, the horizontal unit normal and the unit vertical in the Holmboe's system respectively. In this paper, however, the three-dimensional flow is taken into consideration, and the quasi-pressure coordinates are adopted.

§ 3. The extended directional differentiation

Since the natural coordinate system is different from the curvilinear coordinate system, its treatment will be a matter for consideration. With the aid of the directional

differentiation in analysis, we shall at first treat the directional differentiation in the natural coordinate system.

If a function $F\ (x, y, z, t)$ is differentiable with respect to x, y, z and t, the directional derivative with respect to the direction determined by the direction cosine (l_x, l_y, l_z) is defined as

$$l_x\frac{\partial F}{\partial x}+l_y\frac{\partial F}{\partial y}+l_z\frac{\partial F}{\partial z}\ .$$

Accordingly if we denote the directional derivatives in the direction of **t** and **n** by $\frac{\partial F}{\partial s}$ and $\frac{\partial F}{\partial n}$ respectively, they are defined as

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial s}&\equiv\ \cos\theta\frac{\partial F}{\partial x}+\sin\theta\frac{\partial F}{\partial y}\\ \frac{\partial F}{\partial n}&\equiv-\sin\theta\frac{\partial F}{\partial x}+\cos\theta\frac{\partial F}{\partial y}\end{aligned}\right\}. \tag{3}$$

Usually θ is considered as a constant, but in this paper we regard it as a function of x, y, z and t taking the directional differentiation in a wide sense. In the following we call $\frac{\partial F}{\partial s}$ and $\frac{\partial F}{\partial n}$ defined in (3) as the derivative with respect to s and n respectively.

If $\theta\ (x, y, z, t)$ is differentiable with respect to x and y, we have from (3)

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial\theta}{\partial s}&=\ \cos\theta\frac{\partial\theta}{\partial x}+\sin\theta\frac{\partial\theta}{\partial y}\\ \frac{\partial\theta}{\partial n}&=-\sin\theta\frac{\partial\theta}{\partial x}+\cos\theta\frac{\partial\theta}{\partial y}\end{aligned}\right\}. \tag{4}$$

Readily we have from (3)

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial x}&=\ \cos\theta\frac{\partial F}{\partial s}-\sin\theta\frac{\partial F}{\partial n}\\ \frac{\partial F}{\partial y}&=\ \sin\theta\frac{\partial F}{\partial s}+\cos\theta\frac{\partial F}{\partial n}\end{aligned}\right\}. \tag{5}$$

From the definition (3) it is demonstrated that the directional differentiations of sum, product and quotient of two or more functions and a function of another function etc. can be calculated under the same rule as in the usual differentiation, even if θ is variable with respect to x, y, z and t. However, if we consider the directional differentiation of the second order, the difference between the usual directional differentiation and the extended one in this paper is revealed as shown below.

Differentiating (3) with respect to the independent variable z or time t, we have

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial F}{\partial s}\right)&=-\sin\theta\frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial F}{\partial x}+\cos\theta\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)+\cos\theta\frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial F}{\partial x}+\sin\theta\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\\ &=\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)+\frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial F}{\partial n}\\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial F}{\partial s}\right)&=\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial F}{\partial t}\right)+\frac{\partial\theta}{\partial t}\frac{\partial F}{\partial n}\\ \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial F}{\partial n}\right)&=\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)-\frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial F}{\partial s}\\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial F}{\partial n}\right)&=\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial F}{\partial t}\right)-\frac{\partial\theta}{\partial t}\frac{\partial F}{\partial s}\end{aligned}\ \Bigg\}. \tag{6}$$

Furthermore differentiating directionally (3) with respect to s and n respectively, we have from (3) and (4)

$$\frac{\partial^2 F}{\partial s^2}=\frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial F}{\partial n}+\cos^2\theta\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}+2\sin\theta\cos\theta\frac{\partial^2 F}{\partial y\partial x}+\sin^2\theta\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \tag{7}$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial n^2}=-\frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial F}{\partial s}+\sin^2\theta\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}-2\sin\theta\cos\theta\frac{\partial^2 F}{\partial y\partial x}+\cos^2\theta\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \tag{8}$$

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial F}{\partial s}\right)=\frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial F}{\partial n}+\sin\theta\cos\theta\left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\right)+(\cos^2\theta-\sin^2\theta)\frac{\partial^2 F}{\partial y\partial x} \tag{9}$$

$$\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial F}{\partial n}\right)=-\frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial F}{\partial s}+\sin\theta\cos\theta\left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\right)+(\cos^2\theta-\sin^2\theta)\frac{\partial^2 F}{\partial y\partial x}\ , \tag{10}$$

where $\frac{\partial \theta}{\partial s}$ and $\frac{\partial \theta}{\partial n}$ have the mathematical meaning of (4) and its kinematical meaning will be referred to later (§ 5). Subtracting (10) from (9), we obtain

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial F}{\partial s}\right)-\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial F}{\partial n}\right)=\frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial F}{\partial n}+\frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial F}{\partial s}\ . \tag{11}$$

Further, adding (7) to (8), we obtain the Laplacian:

$$\Delta_p F\equiv\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}=\frac{\partial^2 F}{\partial s^2}+\frac{\partial^2 F}{\partial n^2}+\frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial F}{\partial s}-\frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial F}{\partial n}\ . \tag{12}$$

As shown in equations (6) and (11) it can not be admitted to reverse the order of the directional differentiation when θ is variable with respect to x, y, z and t, and the rule of exchanging differentiations in our natural coordinate system is summarized by the formulae:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right)=\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)+\frac{\partial \theta}{\partial t}\frac{\partial}{\partial n} \tag{13. a}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right)=\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)-\frac{\partial \theta}{\partial t}\frac{\partial}{\partial s} \tag{13. b}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right)=\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial t}\right) \tag{13. c}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right)=\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right)+\frac{\partial \theta}{\partial z}\frac{\partial}{\partial n} \tag{13. d}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right)=\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right)-\frac{\partial \theta}{\partial z}\frac{\partial}{\partial s} \tag{13. e}$$

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right)=\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right)+\frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial}{\partial s}+\frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial}{\partial n}\ . \tag{13. f}$$

Such kinematical relations regarding the natural coordinate system could not be demonstrated by the Holmboe's method.

§ 4. Vector formulae in the natural coordinates

If a scalar function F and a vector function $\mathbf{A}$ are differentiable with respect to x, y and z, we obtain from (2) and (5)

$$\left.\begin{aligned}
&\operatorname{grad} F = \mathbf{t}\frac{\partial F}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial F}{\partial n} + \mathbf{k}\frac{\partial F}{\partial z}\\
&\operatorname{grad}_p F = \mathbf{t}\frac{\partial F}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial F}{\partial n}\\
&\operatorname{div}\ \mathbf{A} = \frac{\partial A_s}{\partial s} + \frac{\partial A_n}{\partial n} + \frac{\partial A_z}{\partial z} + A_s\frac{\partial \theta}{\partial n} - A_n\frac{\partial \theta}{\partial s}\\
&\operatorname{div}_p \mathbf{A} = \frac{\partial A_s}{\partial s} + \frac{\partial A_n}{\partial n} + A_s\frac{\partial \theta}{\partial n} - A_n\frac{\partial \theta}{\partial s}\\
&\operatorname{rot}\ \mathbf{A} = \mathbf{t}\left(\frac{\partial A_z}{\partial n} - \frac{\partial A_n}{\partial z} - A_s\frac{\partial \theta}{\partial z}\right) + \mathbf{n}\left(\frac{\partial A_s}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial s} - A_n\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)\\
&\qquad\qquad + \mathbf{k}\left(\frac{\partial A_n}{\partial s} - \frac{\partial A_s}{\partial n} + A_s\frac{\partial \theta}{\partial s} + A_n\frac{\partial \theta}{\partial n}\right)
\end{aligned}\right\}, \tag{14}$$

where A_s, A_n and A_z are three components of A in the natural coordinates namely——

$$\begin{aligned}
\mathbf{A} &= \mathbf{t}\,A_s + \mathbf{n}\,A_n + \mathbf{k}\,A_z\\
A_s &= A_x\cos\theta + A_y\sin\theta\\
A_n &= -A_x\sin\theta + A_y\cos\theta.
\end{aligned}$$

For the current vector V we have as a special case of (14) the formulae;

$$\left.\begin{aligned}
&\operatorname{div}\mathbf{V} = Q + \frac{\partial w}{\partial z} \qquad\qquad Q \equiv \operatorname{div}_p \mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial s} + u\frac{\partial \theta}{\partial n}\\
&\operatorname{rot}\mathbf{V} = \mathbf{t}\xi + \mathbf{n}\eta + \mathbf{k}\zeta\\
&\qquad \xi = \frac{\partial w}{\partial n} - u\frac{\partial \theta}{\partial z} \qquad \eta = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial s} \qquad \zeta = u\frac{\partial \theta}{\partial s} - \frac{\partial u}{\partial n}
\end{aligned}\right\}, \tag{15}$$

where **u** is the *isobaric component* of V, and w is the *orthogonal* (k) *component* of **V**, namely——

$$\left.\begin{aligned}
\mathbf{V} &= \mathbf{t}u + \mathbf{k}w\\
\mathbf{u} &= \mathbf{i}V_x + \mathbf{j}V_y
\end{aligned}\right\}. \tag{16}$$

Also, for the unit vector we have readily as a special case of (14) the formulae:

$$\left.\begin{aligned}
&\operatorname{div}\mathbf{t} = \frac{\partial \theta}{\partial n} \qquad\qquad \operatorname{div}\mathbf{n} = -\frac{\partial \theta}{\partial s}\\
&\operatorname{rot}\mathbf{t} = -\mathbf{t}\frac{\partial \theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial \theta}{\partial s} \qquad \operatorname{rot}\mathbf{n} = -\mathbf{n}\frac{\partial \theta}{\partial z} + \mathbf{k}\frac{\partial \theta}{\partial n}
\end{aligned}\right\}. \tag{17}$$

Differentiating the unit vector (2) directionally, we have

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial \mathbf{t}}{\partial t} = \mathbf{n}\frac{\partial \theta}{\partial t} \qquad \frac{\partial \mathbf{t}}{\partial s} = \mathbf{n}\frac{\partial \theta}{\partial s} \qquad \frac{\partial \mathbf{t}}{\partial n} = \mathbf{n}\frac{\partial \theta}{\partial n} \qquad \frac{\partial \mathbf{t}}{\partial z} = \mathbf{n}\frac{\partial \theta}{\partial z}\\
&\frac{\partial \mathbf{n}}{\partial t} = -\mathbf{t}\frac{\partial \theta}{\partial t} \qquad \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial s} = -\mathbf{t}\frac{\partial \theta}{\partial s} \qquad \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial n} = -\mathbf{t}\frac{\partial \theta}{\partial n} \qquad \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial z} = -\mathbf{t}\frac{\partial \theta}{\partial z}\\
&\frac{\partial \mathbf{k}}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial \mathbf{k}}{\partial s} = 0 \qquad \frac{\partial \mathbf{k}}{\partial n} = 0 \qquad \frac{\partial \mathbf{k}}{\partial z} = 0
\end{aligned}\right\}. \tag{18}$$

§ 5. Kinematical meaning of the directional differentiation

The natural coordinate system has been treated in the above only with the definition of the directional differentiation (3) under the assumption that u does not vanish and that θ, V and functions to be applied are all differentiable, and the kinematical meaning of the directional differentiation in the natural coordinate system has not been referred to. We shall examine it in this paragraph.

When a plane curve $f(x, y) = 0$ is given, its curvature is expressed by

$$K = \frac{2\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}\frac{\partial f}{\partial x}\frac{\partial f}{\partial y} - \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 - \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2}{\left\{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2\right\}^{3/2}},$$

and its slope made with the x axis is expressed by

$$\tan\theta = -\frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\frac{\partial f}{\partial y}}.$$

From these two equations we can demonstrate

$$K = \cos\theta\frac{\partial\theta}{\partial x} + \sin\theta\frac{\partial\theta}{\partial y},$$

which is the same as the first equation of (4). Hence $\frac{\partial\theta}{\partial s}$ given in (4) is nothing but the curvature of a plane curve whose tangent at any point has the same direction as the unit vectors $\mathbf{t}$ at that instant. In other words this curve, if it exists, is the stream line regarding only the isobaric component of current velocity, and we call it the *isobaric stream line* in the following.

As the isobaric divergence Q is not nil in general, there is no isobaric stream function. In other words the isobaric stream lines may have many singular points; neutral points, branching points, joining points, terminal points, converging points and diverging points etc. However, even if the stream function is not determined, it can not be the essential difficult point in the natural coordinate system. If we consider only the domain where the isobaric velocity component does not vanish ($u \neq 0$) and its inclination θ is differentiable, θ has a single value at any point of space and time, and it changes continuously from point to point and with time. In this case the isobaric stream line can be drawn continuously and smoothly, and there is no neutral point, terminal point, converging point or diverging point, and branching or joining of two isobaric stream lines occurs with the same tangent, but the relation that the width between two adjacent stream lines is inversely proportional to the current velocity is not established.

From the above consideration it is concluded that s is a metric coordinate along an isobaric stream line, and n is a metric coordinate along an orthogonal to the isobaric stream lines. When both the stream function and the vector potential of current exist, the meshes of stream lines and their orthogonals seem to form a curvilinear coordinate system, but the former is essentially different from the latter because along a stream

line or an orthogonal the value of n or s is not kept constant.

§ 6. General equation of motion in the natural coordinates

In this paragraph we shall express the general equation of motion in terms of the natural coordinate system derived in the preceeding paragraphs. The equation of frictionless motion in the ocean has the form

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{W} \times \mathbf{V}) = -\alpha \operatorname{grad} p - \operatorname{grad} \Omega - \operatorname{grad} \frac{V^2}{2}, \tag{19}$$

where

$$\mathbf{W} = \operatorname{rot} \mathbf{V}_a = \operatorname{rot} \mathbf{V} + 2\mathbf{O}. \tag{20}$$

The symbols used have the meaning.

$\mathbf{V}$: the current velocity vector
$\mathbf{W}$: the absolute vorticity vector
$\mathbf{V}_a$: the absolute velocity vector
$\mathbf{O}$: the angular velocity vector of the earth's rotation
α : specific volume of the water
p : pressure
Ω : geopotential
φ : geographical latitude

Since the current velocity vector is expressed by

$$\mathbf{V} = \mathbf{t}u + \mathbf{k}w, \tag{21}$$

we have from the first equation of (18)

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} = \mathbf{t}\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{n}u\frac{\partial \theta}{\partial t} + \mathbf{k}\frac{\partial w}{\partial t}. \tag{22}$$

On the other hand the absolute vorticity vector is dissolved into three components in the natural coordinate system, namely——

$$\mathbf{W} = \mathbf{t}X + \mathbf{n}Y + \mathbf{k}Z, \tag{23}$$

where from (15) and (20) we can express each component of W as

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{\partial w}{\partial n} - u\frac{\partial \theta}{\partial z} + \bar{\lambda}\sin\theta \\ Y &= \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial s} + \bar{\lambda}\cos\theta \\ Z &= u\frac{\partial \theta}{\partial s} - \frac{\partial u}{\partial n} + \lambda \end{aligned}\right\} \qquad \begin{aligned} \lambda &= 2|\mathbf{O}|\sin\varphi \\ \bar{\lambda} &= 2|\mathbf{O}|\cos\varphi \end{aligned}. \tag{24}$$

Accordingly from (21), (22), (23) and the first equation of (14) the vector equation (19) is dissolved into three components of **t**, **n** and **k**:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{V^2}{2} + \Omega\right) = -wY \tag{25}$$

$$u\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{V^2}{2} + \Omega\right) = -uZ + wX \tag{26}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{V^2}{2}+\Omega\right)=uY-\alpha\frac{\partial p}{\partial z}\ . \tag{27}$$

From (1), the last term of (27) is also expressed as

$$-\alpha\frac{\partial p}{\partial z}=1000\,\alpha\ \text{(in c.g.s. unit system)}. \tag{28}$$

§ 7. Energy equation and vorticity equation

Multiplying the equation (25) by u/V and the equation (27) by w/V and adding, we obtain

$$\frac{DV}{Dt}+\frac{\partial\Omega}{\partial\sum}+\alpha\frac{\partial p}{\partial\sum}=0, \tag{29}$$

where the operation $\frac{\partial}{\partial\sum}$ is the directional differentiation along a stream line itself (it is not an isobaric stream line) and is expressed as

$$\frac{\partial}{\partial\sum}=\frac{u}{V}\frac{\partial}{\partial s}+\frac{w}{V}\frac{\partial}{\partial z}=\frac{u}{V}\left(\cos\theta\frac{\partial}{\partial x}+\sin\theta\frac{\partial}{\partial y}\right)+\frac{w}{V}\frac{\partial}{\partial z}$$

$$\frac{D}{Dt}=\frac{\partial}{\partial t}+u\frac{\partial}{\partial s}+w\frac{\partial}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial t}+V\frac{\partial}{\partial\sum}\ .$$

Basing on the assumption (A) in § 2, the local time change of pressure vanishes $\left(\frac{\partial p}{\partial t}=0\right)$. On the other hand the geopotential is independent of time $\left(\frac{\partial\Omega}{\partial t}=0\right)$, and the specific volume of the water is approximately conserved in frictionless ocean current $\left(\frac{D\alpha}{Dt}\fallingdotseq 0\right)$. Applying the above consideration to (29), we have readily

$$\frac{D}{Dt}\left(\frac{V^2}{2}+\Omega+\alpha p\right)=0. \tag{30}$$

This is the equation of current path, and when assuming the steady state it agrees with Bernoulli's theorem in the baroclinic ocean.

As a special case of (30) we consider the surface current. At the sea surface, which is an isobaric surface and is not shifted from time to time on the assumption (A), the current must flow along it from the kinematical condition. Then we have from (30)

$$\frac{D}{Dt}\left(\frac{u^2}{2}+\Omega\right)=0. \tag{31}$$

This means that the mechanical energy per unit mass is conserved along a current path under the assumption (A).

When we subtract the directional derivative of (25) with respect to n from the directional derivative of (26) with respect to s, and arrange it by applying the rule of exchanging differentiation (13), we obtain after some calculation

$$\frac{\partial Z}{\partial t}+u\frac{\partial Z}{\partial s}+QZ+w\frac{\partial Z}{\partial z}-X\frac{\partial w}{\partial s}-Y\frac{\partial w}{\partial n}=0.$$

This equation has the same form with the general vorticity equation in the Cartesian coordinates.

As a special case when w vanishes, we have

$$\frac{DZ}{Dt} = 0,$$

because Q vanishes in the incompressible water.

§ 8. The stream function in the stationary isobaric frictionless current

In this case the equations of motion (25), (26) and (27) are reduced to

$$\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{u^2}{2} + \Omega\right) = 0 \tag{32}$$

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{u^2}{2} + \Omega\right) = -uZ \tag{33}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{u^2}{2} + \Omega\right) = uY - \alpha\frac{\partial p}{\partial z} = uY + 1000\alpha \text{(in c.g.s. unit system)}. \tag{34}$$

Operating the rule (13. f) to $(u^2/2 + \Omega)$, we have from (32) and (33)

$$\frac{\partial}{\partial s}(uZ) = -uZ\frac{\partial\theta}{\partial n}.$$

By the condition

$$Q = \frac{\partial u}{\partial s} + u\frac{\partial\theta}{\partial n} = 0,$$

it reduces to

$$\frac{\partial Z}{\partial s} = 0. \tag{35}$$

This equation shows the conservation of Z along a stream line in the stationary isobaric frictionless current.

Operating the rule (13. e) to $(u^2/2 + \Omega)$, we have from (33) and (34)

$$\frac{\partial}{\partial n}(uY) + \frac{\partial}{\partial z}(uZ) + 1000\frac{\partial\alpha}{\partial n} = 0. \tag{36}$$

Similarly from (13. d), (32) and (34) we get

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = \frac{1000\frac{\partial\alpha}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s}(uY)}{uZ} = \frac{\frac{\partial}{\partial s}(uY)}{uZ}, \tag{37}$$

because the specific volume is conserved along a stream line in the stationary frictionless current. The equation (37) shows that the velocity vector does not keep its direction constant along an orthogonal to the isobaric surfaces in general. If we project orthogonally the stream lines lying on an isobaric surface upon any other isobaric surface, the projections do not coincide with the stream lines on the latter surface. In other words the second law of the parallel solenoidal field is not strictly established in so far as the Y-transport is not conserved along a stream line, though the deviation from the second law is, in effect, trifling in the major current where the Z-transport is great.

Next we shall consider the stream function. As the isobaric divergence Q vanishes,

there exists the stream function of current vector ϕ_u. By using it we have in the Cartesian coordinates

$$\mathbf{u} = \mathbf{i}V_x + \mathbf{j}V_y = -\mathbf{i}\frac{\partial \phi_u}{\partial y} + \mathbf{j}\frac{\partial \phi_u}{\partial x} = [\mathbf{k} \times (\mathrm{grad}_p\, \phi_u)],$$

while from the second equation of (14) we have in the natural coordinates

$$\mathbf{u} = \left[\mathbf{k} \times \left(\mathbf{t}\frac{\partial \phi_u}{\partial s} + \mathbf{n}\frac{\partial \phi_u}{\partial n}\right)\right] = -\mathbf{t}\frac{\partial \phi_u}{\partial n} + \mathbf{n}\frac{\partial \phi_u}{\partial s}\ .$$

Taking the $\mathbf{t}$ and $\mathbf{n}$ components of the latter equation respectively and considering the relation $\mathbf{u} = \mathbf{t}u$, it follows that

$$\frac{\partial \phi_u}{\partial n} = -u \qquad \frac{\partial \phi_u}{\partial s} = 0. \tag{38}$$

It is evident that the necessary and sufficient condition for the existence of the stream function in the natural coordinates is

$$Q = \frac{\partial u}{\partial s} + u\frac{\partial \theta}{\partial n} = 0,$$

because, in applying the rule (13. f) to ϕ_u, we have

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial \phi_u}{\partial s}\right) = \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial \phi_u}{\partial n}\right) + \frac{\partial \theta}{\partial s}\frac{\partial \phi_u}{\partial s} + \frac{\partial \theta}{\partial n}\frac{\partial \phi_u}{\partial n}\ .$$

Returning to the equations (32) and (33), if we denote the mechanical energy by

$$\phi = \frac{u^2}{2} + \Omega, \tag{39}$$

we have straightly

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -uZ \qquad \frac{\partial \phi}{\partial s} = 0. \tag{40}$$

Comparing (40) with (38) in considering of that Z is positive in the stable current in the Northern Hemisphere, it is concluded that ϕ is not the stream function of current velocity but is the stream function of the vorticity transport vector $\mathfrak{V} = \mathbf{u}Z$. The necessary and sufficient condition for the existence of the stream function of $\mathfrak{V}$ is

$$\mathrm{div}_p\, \mathfrak{V} = 0,$$

and the establishment of this condition is verified from $Q = 0$ and $\frac{\partial Z}{\partial s} = 0$.

Thus the stationary isobaric frictionless current in a baroclinic ocean has such characters as follows:

(A) Along a stream line both Z (the $\mathbf{k}$ component of the absolute vorticity) and ϕ (the mechanical energy per unit mass) are conserved respectively, but neither the current velocity (the kinetic energy) nor the geopotential is conserved. Thus an isoline of Z or ϕ indicates a stream line.

(B) The mechanical energy ϕ is the stream function of the vorticity transport vector $\mathfrak{V} = \mathbf{u}Z$.

If we draw the stream lines of ϕ with constant difference of its value ($\Delta\phi = \mathrm{const.}$)

on an isobaric surface and set down channels between adjacent stream lines of ϕ, the width of the channel Δn is inversely proportional to the current velocity u along a channel $\left(\Delta n = k\frac{1}{u}\right)$, and its proportional parameter k is kept constant along a channel, but it varies from channel to channel being inversely proportional to Z of the channel $\left(k = \frac{\Delta\phi}{Z}\right)$. Along a channel the k component of the absolute vorticity (Z), the capacity of the volume transport ($u\,\Delta n$) and the capacity of the vorticity transport ($Zu\Delta n$) are conserved respectively. The first and the second vary from chacnel to channel, but the third is kept constant for any channel throughout space.

PART II. APPLICATIONS TO THE KUROSHIO SYSTEM

In the first part of this paper some relations in the natural coordinate system were derived, but there are few observations suitable for applying these theoretical results to the Kuroshio System. In the following, some applications restricted within a steady state are presented. This restriction is an inevitable consequence of the lack of observations suitable for the treatment in the non-steady state.

In this part the surface stream lines in the Kuroshio System to the east of Japan are at first determined dynamically, and the relation between the velocity and the curvature along a stream line is examined from both theory and observation.

All the data used in this paper are from the observations on board the RYÔFÛ-MARU (Japan Meteorological Agency) in August, 1955 and in February and June, 1956 published in Nos. 17 and 19 of the *Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations* (JMA).

§ 9. Dynamic depth estimated from the upper water temperature

In the Kuroshio System to the east of Japan there is scarcely any observation which takes both the usual serial oceanographical observation reaching to the deep water and the current observation with GEK in close network of stations. In the observation on board the RYÔFÛ-MARU in the summer of 1955, which participated in the NORPAC Expedition pursuing the main current of the Kuroshio to 160°E, the BT and GEK observations occupied stations of close interval, but the stations of the deep serial oceanographical observations were more than fifty nautical miles apart from each other (Oceanographical Section, CMO, 1956). Therefore we are obliged to estimate the dynamic depth between the stations of the serial oceanographical observations from the BT observations above a depth of 200 m whose stations occupied almost the same position as the GEK stations.

Before estimating the dynamic depth from the upper temperature it is necessary to know the temperature structure in the vicinity of the Kuroshio Front. The striking feature of the temperature structure in this area is the existence of the warm core, which is found to the south of the Kuroshio Front in the layer above a depth of about 300 m but is not recognized below about that depth. Crossing the Kuroshio Front from left to right facing down stream on a traverse in the upper layer, the water temperature abruptly rises in the vicinity of the stream axis and in a short distance

reaches to the maximum value at the warm core axis, but to the right of this axis the temperature falls. On a traverse in the lower layer, however, the maximum temperature is not recognized as a general feature, and the water temperature continues to rise towards the right to the left edge of the counter current. Regarding the dynamic depth, referred to a deeper layer, on a traverse on any isobaric surface, whether this surface may be shallower or deeper, its value increases towards the right, in general, to the left edge of the counter current. Thus on an isobaric surface above a depth of about 300 m two values of temperature correspond to one value of the dynamic depth referred to a deeper layer, but below a depth of about 300 m one to one correspondence is almost established.

In the present case where only the temperature data above a depth of 200 m are available, we divide the dynamic depth of the sea surface referred to the 1000-decibar surface D^0_{1000} into two parts, namely —— the dynamic depth of the sea surface referred to the 200-decibar surface D^0_{200} and the dynamic depth of the 200-decibar surface referred to the 1000-decibar surface (D^{200}_{1000}). Then D^0_{200} may be estimated from the vertical mean temperature of the upper 200 m layer $(\overline{T})$, and D^{200}_{1000} from temperature at a depth of 200 m (T_{200}), because the former estimation is based on the constant *T-Cl* relation in a limited area during a short period (Yasui, 1955) and the latter both on the establishment of the quasi-parallel solenoidal field (cf. § 8) and the temperature structure considered above, though a depth of 200 m is not deep enough for the establishment of one to one correspondence between D^{200}_{1000} and T_{200} on a traverse.

When the anomaly of dynamic depth (ΔD) is used instead of the dynamic depth (D) itself, the above treatment will be also established in the same manner. Hence for the sake of brevity ΔD is adopted instead of D in the following numerical computation.

When we compute $\overline{T}$ by

$$\overline{T} = \frac{T_0/2 + T_{50} + T_{100} + T_{150} + T_{200}/2}{4} ,$$

the regression of ΔD^0_{200} (in dynamic meter) against $\overline{T}$ (in °C) is expressed by the equation

$$\widehat{\Delta D}^0_{200} = (0.410 \pm 0.027) - (0.0115 \pm 0.0037)\,\overline{T} + (0.00134 \pm 0.00012)\,\overline{T}^2 \qquad (5°\mathrm{C} < \overline{T} < 23°\mathrm{C})$$

after the Deming's method of least squares neglecting the variance of $\overline{T}$ (Fig. 1). The goodness of fit for this regression curve can not be tested in this case. However the width of the confidence belt with 95 per cent reliability is less than 0.02 dynamic meter for the interval of $(10° < \overline{T} < 23°)$, so that this regression curve is considered to give a practically good estimation of ΔD^0_{200}. It is not serious that the belt has the width between 0.02°C and 0.05°C for the interval of $(5° < \overline{T} < 10°)$, because almost all the $\overline{T}$ values within this cold range are found only in a narrow area (38°N, 142°～145°E) in the following example (Fig. 3) and the estimated ΔD^0_{200} for these $\overline{T}$ is not used effectively.

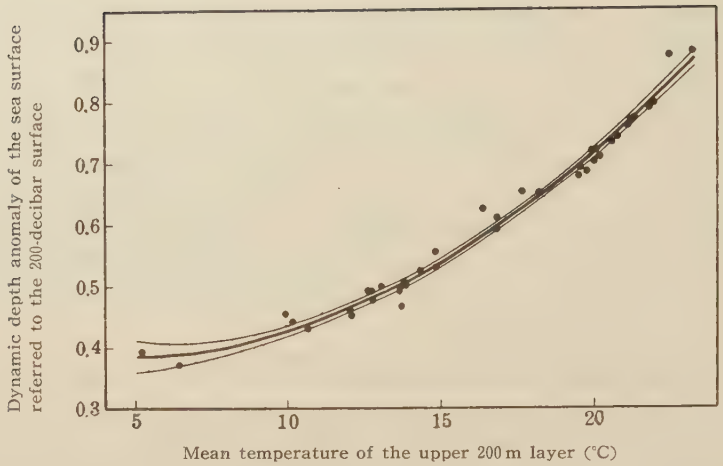


Fig. 1. Relation between the vertical mean temperature of the upper 200 m layer and the dynamic depth anomaly of the sea surface referred to the 200-decibar surface. The thick line shows the curve determined by the method of least squares, while thin lines show the confidence limits of 95 per cent reliability.

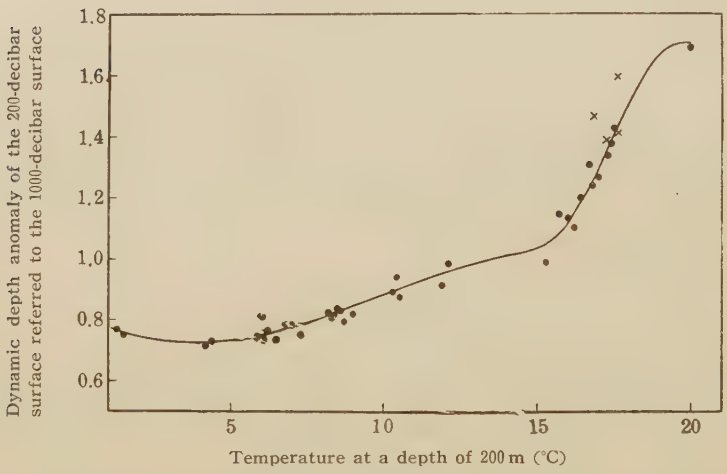


Fig. 2. Relation between temperature at a depth of 200 m and the dynamic depth anomaly of the 200-decibar surface referred to the 1000-decibar surface. Crosses correspond to the stations on the outer side of the warm core. The line is fitted by trial and error and consists of two cubic curves joined at a temperature of 15°C.

Giving a glance to points distribution of ΔD_{1000}^{200} against T_{200} (Fig. 2), the curve fitting to them seems to be so meandering that it is tedious to apply the method of least squares. Therefore two cubic curves joined at a temperature of 15°C were fitted to these points by trial and error. They are

$$\widehat{\Delta D}_{1000(\mathrm{I})}^{200} = 0.82 - 0.058\,T_{200} + 0.0094\,(T_{200})^2 - 0.00031\,(T_{200})^3 \quad (1^\circ\mathrm{C} < T_{200} \leq 15^\circ\mathrm{C})$$

$$\widehat{\Delta D}_{1000(\mathrm{II})}^{200} = 59.47 - 10.484 T_{200} + 0.6174\,(T_{200})^2 - 0.01188\,(T_{200})^3 \quad (15^\circ\mathrm{C} \leq T_{200} < 20^\circ\mathrm{C}),$$

where at $T_{200}=15°C$

$$\widehat{\Delta D}^{200}_{1000(I)} = \widehat{\Delta D}^{200}_{1000(II)} \quad \text{and} \quad \frac{d}{d\,T_{200}}\widehat{\Delta D}^{200}_{1000(I)} = \frac{d}{a\,T_{200}}\widehat{\Delta D}^{200}_{1000(II)}.$$

The crosses in Fig. 2 correspond to the stations on the outer side of the warm core, and the curve fitting was made neglecting these points by reason that a depth of 200 m is not deep enough for the establishment of one to one correspondence between ΔD^{200}_{1000} and T_{200} on the outer side of the warm core as mentioned above.

By adding $\widehat{\Delta D}^{200}_{1000}$ to $\widehat{\Delta D}^{0}_{200}$, we can supplement the dynamic depth D^{0}_{1000} at BT stations occupied among the stations of the serial oceanographical observation reaching to 1000 m.

§ 10. Stream lines in the Kuroshio System to the east of Japan

From the comment in § 8 we may consider theoretically an iso-line of mechanical energy as a stream line under the assumption of the stationary isobaric frictionless current. How should we compute the mechanical energy $(u^2/2+\Omega)$ practically?

Considering $Y=\dfrac{\partial u}{\partial z}+\bar{\lambda}\cos\theta$, we have from (34)

$$\frac{\partial \Omega}{\partial z} = \bar{\lambda}\, u\cos\theta + 1000\,\alpha \quad \text{(in c.g.s. unit system)}.$$

Integrating this equation with respect to z from the 1000-decibar surface to the sea surface, we get

$$\Omega^{0}_{1000} = D^{0}_{1000} + \bar{\lambda}\int_{0}^{100000} u\cos\theta\, dz \quad \text{(in c.g.s. unit system)}, \tag{41}$$

where Ω^{0}_{1000} is the geopotential distance between these two isobaric surfaces (in erg) and D^{0}_{1000} is the dynamic depth commonly used of the sea surface referred to the 1000-decibar surface (in 10^{-5} dynamic meter). So far in practical oceanography we have dropped the last term in (41), namely —— the *deflecting effect* in the dynamic computation, but here it is necessary to re-examine the validity of this omission, for the relatively small quantity of $u^2/2$ is coming into consideration.

Assuming the linear decrease of current velocity from u_s at the surface to zero at the 1000-decibar surface, the upper limit of the deflecting effect in the dynamic computation $(\bar{\lambda}\int_{0}^{100000} u\cos\theta\, dz)$ at 35°N is given as follows:

$$\left.\begin{aligned} \delta \equiv \left|\bar{\lambda}\int_{0}^{100000} u\cos\theta\, dz\right| &< 12\times10^{-5}\int_{0}^{100000} u\, dz = 6u_s \\ \frac{u_s^2/2}{\text{Upper limit of }\delta} &= \frac{u_s}{12} \end{aligned}\right\} \quad \text{(in c.g.s. unit system).} \tag{42}$$

When u_s exceeds a velocity of 12 cm/sec the kinetic energy is greater than the upper limit of the deflecting effect from (42), and the ratio of the former to the latter increases linearly with u_s (Table 1).

When u_s exceeds a velocity of 2 knots, a water particle with unit mass has the kinetic energy more than 0.05×10^5 ergs which are equivalent to 0.05 dynamic meters, while the deflecting effect is relatively reduced to the order of one tenth of kinetic

Table 1. Comparison between the kinetic energy per unit mass and the upper limit of the deflecting effect in the dynamic computation at 35°N for several values of surface velocity

Surface velocity	u_s (knots)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
(a) Kinetic energy per unit mass	$\frac{u_s^2}{2}$ (10^5 ergs)	0.003	0.013	0.053	0.119	0.212	0.331
(b) Upper limit of the deflecting effect (δ)	$6u_s$ (10^5 ergs)	0.001_5	0.003	0.006	0.009	0.012	0.015
Ratio (a)/(b)		2.1	4.3	8.6	12.9	17.1	21.4

energy, so the last term of (41) may be neglected as in the uaual method of the dynamic computation.

Thus in the vicinity of the jet stream it is numerically significant to discuss the distribution of the mechanical energy ($u^2/2+\Omega$), and the geopotential Ω is practically equivalent to the dynamic depth D computed by the usual method. When assuming the linear decrease of current velocity with the same vertical shearing as mentioned above, the ratio of the kinetic energy to the upper limit of the deflecting effect is kept constant at any depth, because at a depth of z the kinetic energy has the value of $\frac{u_s^2}{2}(100000-z)^2$ in c.g.s. unit system, while the upper limit of the deflecting effect has the value of $\delta(100000-z)^2$ in c.g.s. unit system. Thus the above conclusion on the computation of mechanical energy is established not only in the surface jet stream but in the subsurface layer under it.

Now, the stream lines on the sea surface can be drawn by using both the current vector observed with GEK and the stream function of the vorticity transport vector ($\phi = u^2/2+\Delta D_{1000}^0$) at each station, where $u^2/2$ is derived from the GEK observation. These constraining conditions from two sides reduce the arbitrary interpretations in drawing stream lines, and there was scarcely any contradiction between the two constraining conditions in this example (Fig. 3).

At the present time the obtained chart is considered as the only one showing the detailed stream lines of the surface current in the extensive area of the Kuroshio System to the east of Japan, so it is worthy to give some consideration to this chart. As already reported by the Oceanographical Section, the Central Meteorological Observatory, the predecessor of the present Japan Meteorological Agency (1956), there are found three important features:

(A) The existence of the strong current with a narrow width to the longitude of 160°E.

(B) The branching of the main current at about 146°~148°E which seems to correspond to a transient stage.

(C) The counter current to the north of the main current at about 154°~160°E.

The first feature (A) has been already expected from the existence of the sharp temperature gradient comparable with that in the Gulf Stream System, and the present author called the stream axis of the Kuroshio main current estimated from the temperature structure as the Kuroshio Front (Kawai, 1955 a & b). On the other hand applying the idea of the shingling structure suggested by Fuglister (1951, 1955) and

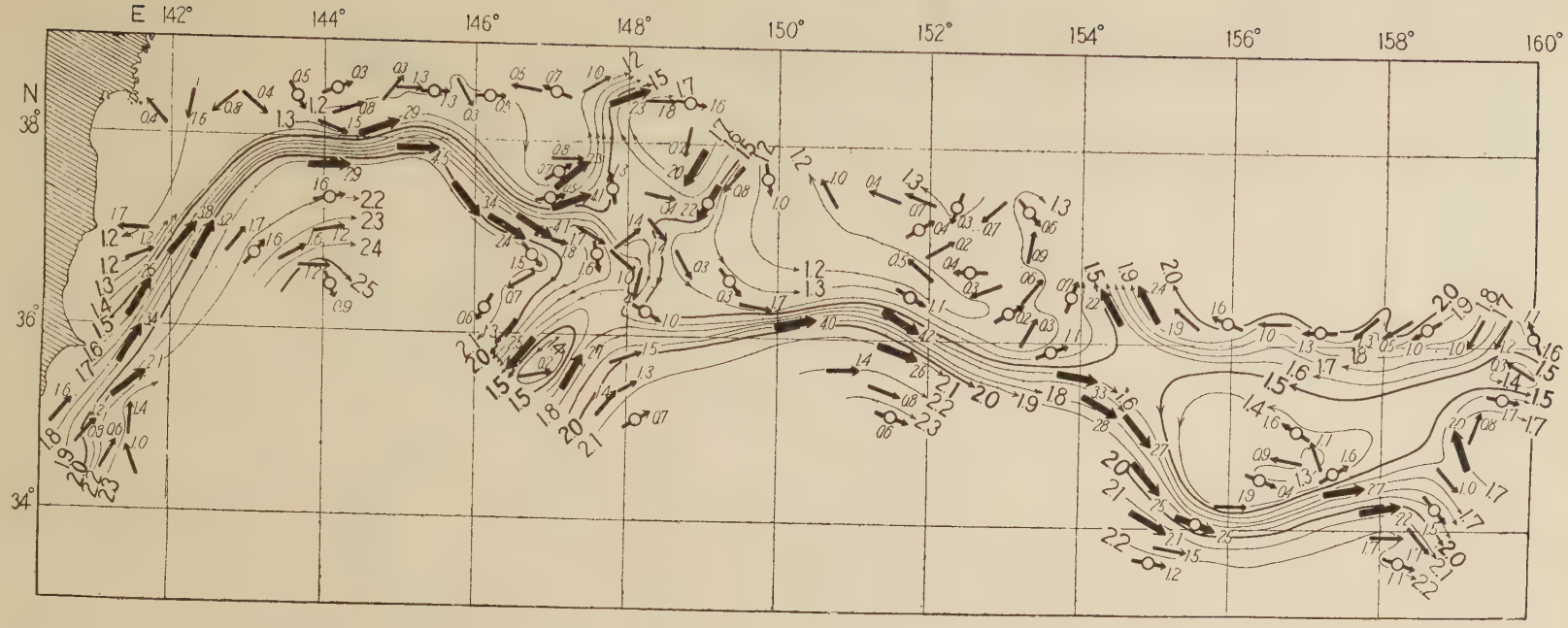


Fig. 3. Surface stream lines and current vectors observed with GEK in August, 1955 (the RYÔFÛ-MARU). Inserted numerals in heavy type indicate the mechanical energy per unit mass ($\phi = \frac{u^2}{2} + \Delta D_{1000}^{0}$) in 10^5 ergs. Numerals in italic beside arrows represent the observed velocity in knots. Open circles are stations of the serial oceanographical observation reaching to a depth of 1000 m. BT station occupies almost the same position as GEK station, where the dynamic depth anomaly of the sea surface referred to the 1000-decibar surface is estimated from the BT observation.

von Arx et al. (1955) to Fig. 3, there are found two or three current filaments; the inshore filament to the west of 147°E and other filament to the east of 148°E which seems to be divided into two filaments at about 154°E though the current velocity is not weakened at about 154°E. However, the extremely turbulent structure as drawn by Fuglister (1955, Chart 4d) could not be found in the Kuroshio System in the summer of 1955.

From Fig. 3 it is found that the current velocity changes over relatively short distance on a stream line, but this phenomenon is a matter of course because a little partition of the mechanical energy to the kinetic energy brings about an intense current speed. The dynamical interpretation on the velocity variation along a stream line will be referred to in §12.

If the branching of the main current is a transient stage (B), the argument assuming a steady state is not consistent. In this case, however, the iso-line of the mechanical energy has somewhat a property of trajectory from (31), so that there is scarcely any contradiction between the current vector and the iso-line of the mechanical energy in Fig. 3. Seeing from this standpoint, the water elements entrained in the counter current at about 155°~160°E seems to rise from the main current after a transient stage, and this idea is partly verified from the nature of its water mass.

As seen from Table 1 the kinetic energy per unit mass is a relatively small quantity, so a marked discrepancy is not expected between the geopotential topography and the mechanical energy distribution at the sea surface. From Fig. 4 we can see that the kinetic energy of the jet stream contributes to steepening the energy distribution due to the geopotential, and that the dynamic isobath in the vicinity of the

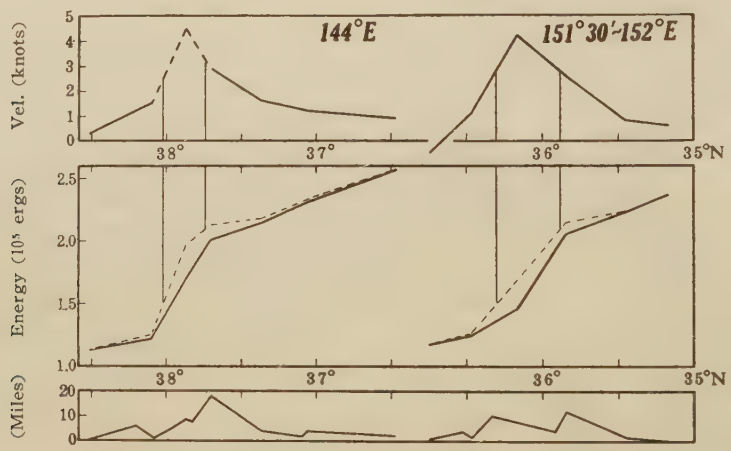


Fig. 4. *Upper*: Surface current profile. Two ordinates in each profile corresponding to $\phi=1.5$ and $\phi=2.1$ are used in the computation of the volume transport capacity in §12. The broken line is supplemented by the observed value at the neighbouring station (145°20'E).

Middle: Energy profile at the surface. Solid line shows the dynamic depth anomaly of the surface referred to the 1000-decibar surface. Broken line shows the mechanical energy ϕ.

Lower: Deviation (nautical miles) of the dynamic isobath from the iso-line of the mechanical energy having the energy equal to the former.

jet axis deviates 10~20 nautical miles towards the right from the iso-line of the mechanical energy having the energy equal to the former. As the current velocity is not constant along an iso-line of the mechanical energy, the deviation is not uniform along this line. Thus this deviation is significant for the quantitative analysis such as the treatment on the velocity variation along a stream line (§ 12) because the 10-miles deviation on a traverse corresponds to the velocity change of about 1 knot in the vicinity of the jet axis. However for the practical use we may regard approximately the dynamic isobath as the stream line, for a marked discrepancy is not found between the two tendencies.

§ 11. Vorticity transport and the Kuroshio Front

On the basis of the comment in § 8 the schematic picture of the Z-transport has been prepared from Fig. 3 and is shown in Fig. 4. The belts with arrows give the approximate direction of the transport and the numerals give the Z-transport per unit thickness at the surface in 10^5 (cm/sec)^2.

The eastward transport of Z at 144°E is 1.5×10^5 (cm/sec)^2, a part of which is turning away from the main transport. At about 146°~149°E the vorticity transport zone divides into three parts, and it is noteworthy that the southern loop and the northern loop occupy about a half of the total transport respectively alloting little transport to the middle course. At about 152°E the main transport is recovered to 1.0×10^5 (cm/sec)^2 which is equal to the main transport at 144°E. At about 153°~154°E the northern part of the main transport is turning away towards the north, but at 156°E the total transport is recovered to 0.9×10^5 (cm/sec)^2 adding a part of the transport around a cyclonic eddy. Between 155°E and 160°E the counter transport of about 0.5×10^5 (cm/sec)^2 exists to the north of the main transport, and it is strengthened to 0.8×10^5 (cm/sec)^2 at about 153°~154°E confluing the transport turned away from the southern main transport.

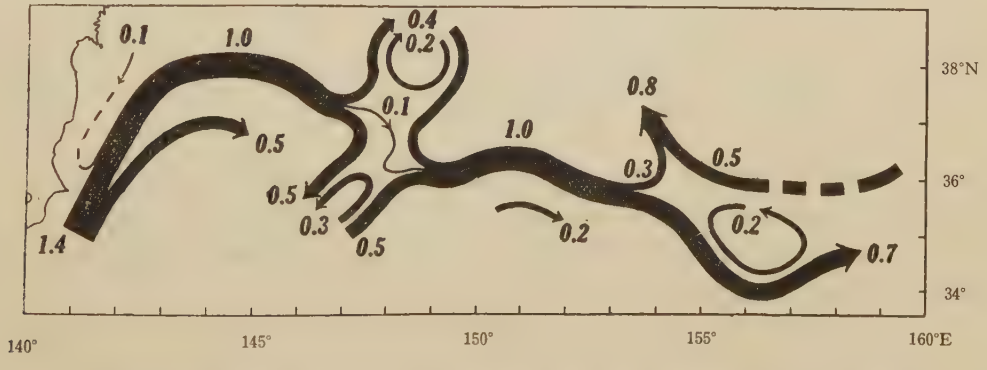


Fig. 5. Schematic chart showing the Z-transport per unit thickness (10^5 cm /sec^2) at the surface in the Kuroshio System.

As a whole the main Z-transport of about 1.0×10^5 (cm/sec)^2 is kept down stream to about 160°E, and it is equal to the Z-transport of the Kuroshio to the south of Japan at that time (Oceanographic Section, KMO, 1956).

It is worthy to note that the net northward Z-transport is appreciable only at about 152°~156°E, while in the west of 150°E the net northward transport vanishes, for the northward transport at about 147°~148°E again returns to the main transport at about 149°~150°E.

Since we found the branching state of the Kuroshio main current, the simple concept of a single strong current "flowing like a river through the sea" can not be applied to the word "Kuroshio Front". However the branching currents at 147°~149°E are wholly confluent to a single jet stream to the east of 150°E as mentioned above (Figs. 3, 5). Thus the word "Kuroshio Front" is still useful in practical oceanography despite of its occasional branching, though its meaning may be changed with the progress of study.

§ 12. Relation between the velocity and the curvature along a stream line

Fundamental Equation

Assuming the stationary isobaric frictionless current we have from (40)

$$d\phi = -uZ\,dn, \quad \text{where} \quad \phi = u^2/2+\Omega.$$

Integrating this equation from the right bank to the left along a traverse crossing a channel between two stream lines ϕ_1 and ϕ_2, we obtain in consideration of (24) the next relation

$$-\int_{n_1}^{n_2}\left[Ku^2-\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{u^2}{2}\right)+\lambda u\right]dn = \Delta\phi \equiv \phi_2-\phi_1 = \text{const.}$$

meaning that the vorticity transport is constant along a channel [cf. § 8 (B)]. Of course K is negative for the anticyclonic bending of stream line in the Northern Hemisphere from the first equation of (4). If we denote the mean curvature on this traverse by $\overline{K}$, we have

$$\Delta\phi = -\overline{K}\,T_M-\lambda\,T_V+\left[\frac{u^2}{2}\right]_{n_1}^{n_2}, \tag{43}$$

where

$$T_M=\int_{n_1}^{n_2}u^2\,dn \quad \text{and} \quad T_V=\int_{n_1}^{n_2}u\,dn$$

are the momentum transport capacity and the volume transport capacity of the channel of unit thickness respectively, and the latter is conserved along a channel but the former is not. Further by using the Rossby factor (β) the Coriolis' parameter is approximately expressed by

$$\lambda = \lambda_0 + \beta\,(y-y_0), \tag{44}$$

where, at $y = y_0$, λ has the value of λ_0 and $\overline{K}$ vanishes. Accordingly at $y = y_0$, the equation (43) is reduced to

$$\Delta\phi = -\lambda_0\,T_V+\left[\frac{u^2}{2}\right]_{n_{10}}^{n_{20}}. \tag{45}$$

Subtracting (45) from (43) in considering of (44) and the constancy of $\Delta\phi$ and T_V

along a channel, we obtain the fundamental equation of the velocity variation along a channel

$$\overline{K}\, T_M + \beta\,(y-y_0)\, T_V = \left[\frac{u^2}{2}\right]_{n_1}^{n_2} - \left[\frac{u^2}{2}\right]_{n_{10}}^{n_{20}}. \tag{46}$$

MODEL 1

When a channel between two stream lines ϕ_1 and ϕ_2 has the triangular current profile, the volume transport capacity and the momentum transport capacity per unit thickness are expressed by

$$\left.\begin{aligned} T_V &= \int_0^{\Delta n} u\, dn = \frac{1}{2}\,\Delta n\, u_t \\ T_M &= \int_0^{\Delta n} u^2\, dn = \frac{1}{3}\,\Delta n\, u_t^2 = \frac{2}{3}\, u_t\, T_V \end{aligned}\right\} \tag{47}$$

respectively, where u_t is the top velocity on a traverse and Δn is the width of this channel (Fig. 6).

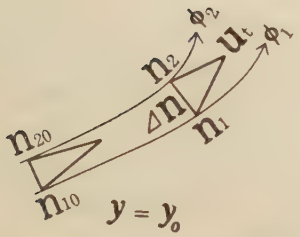


Fig. 6. A channel of triangular current profile in MODEL 1.

Since the current velocity along two stream lines ϕ_1 and ϕ_2 is everywhere zero, the fundamental equation (46) is reduced, in consideration of (47), to the next equation:

$$u_t = -\frac{3}{2}\,\frac{\beta}{\overline{K}}\,(y-y_0). \tag{48}$$

When the channel axis is expressed by the curve $y = y(x)$, we obtain from (48)

$$\frac{y''}{(\sqrt{1+(y')^2})^3} = -\frac{3}{2}\,\frac{\beta}{u_t}\,(y-y_0). \tag{49}$$

If we assume that u_t were constant along a channel, the curve $y = y(x)$ could be determined from (49) similarly as in the C.A.V. trajectory method (Star, 1942), though the right-hand side of (49) is multiplied by the coefficient of 3/2. However, u_t is not actually constant, and it is the object of this paragraph to investigate its variation when the function $y(x)$ is given.

If the channel axis has the sine curve:

$$y = A \sin \kappa x \qquad \kappa = 2\pi/L,$$

we obtain the top velocity from (49)

$$u_t = \frac{3}{2} U\,(1 + A^2\kappa^2 \cos^2 \kappa x)^{3/2}, \tag{50}$$

where $U = \beta L^2/4\pi^2$ corresponds to the undisturbed velocity of the stationary planetary wave with infinite width. From (50) the top velocity has the minimum value 3/2 U at crest and trough $\left(x = \frac{n+1}{n}\,\frac{L}{4}\right)$, and the maximum value $\frac{3}{2} U\,(1 + A^2\kappa^2)^{3/2}$ at the mid-point between crest and trough $\left(x = n\frac{L}{2}\right)$. These maximum and minimum top velocities for several values of one half of wave length ($L/2$) and amplitude (A)

are given in Table 2, where β is taken as 1.875×10^{-13} $cm^{-1}\,sec^{-1}$ (at 35°N).

Table 2. Maximum and minimum top velocities for several values of one half of wave length ($L/2$) and amplitude (A) along the channel of the sine curve ($\beta=1.875\times10^{-13}cm^{-1}sec^{-1}$, at 35°N)

	A (km) \ $L/2$ (km)	400	500	600	700
MAX. TOP VELOCITY (knots)	100	1.8	2.3	2.9	3.6
	150	3.3	3.6	4.1	4.8
	200	5.7	5.7	6.1	6.6
	250	9.5	8.9	8.9	9.2
MIN. TOP VELOCITY (knots)		0.9	1.4	2.0	2.7

Since the actual top velocity along the Kuroshio Front is 1.5~5.5 knots, the possible ranges of A and $L/2$ are determined from Table 2: $A<200$ km, $L/2>500$ km. These values correspond to the relatively flat state of the Kuroshio Front. Among examples of the recent observations since 1954 carried out four times every year, only two examples conform with the above criterion. In winter and summer of 1956 the meandering of the Kuroshio Front adjacent to Japan was gentle, and its course followed a sine curve with A of 220 km and $L/2$ of 560 km (cf. Current chart in *State of the sea adjacent to Japan* issued from the Hydrographic Office, Marine Safety Board).

Though the values of A and $L/2$ in winter and summer of 1956 fulfil the criterion mentioned above, the extreme values of the top velocity does not necessarily occur at the points determined theoretically, and the axis of the sine curve followed by the Kuroshio Front south off Honshû does not coincide with a parallel of latitude but is oblique to it. Thus the equation (48) itself can not be applied to the Kuroshio Front south oft Honshû, and any other term neglected in the equation of motion, perhaps the frictional term, must be taken into consideration.

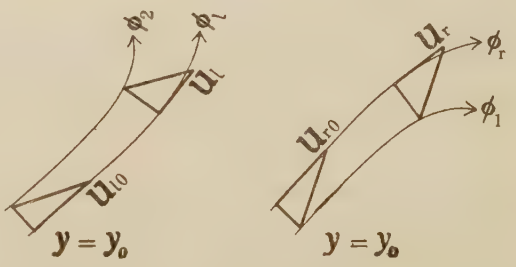


Fig. 7. Channels of triangular current profile in MODEL 2. *Left*: A channel on the left side of the jet axis. *Right*: A channel on the right side of the jet axis.

MODEL 2

If we consider a channel of triangular current profile on the left side of the jet stream axis (Fig. 7, *Left*), the current velocity along a stream line ϕ_2 vanishes as in MODEL 1, and the velocity along ϕ_l (denoted by u_l in the following) corresponds to the top velocity in MODEL 1. Since T_M and T_V are expressed in the same manner as in (47), the fundamental equation (46) is reduced to

$$\frac{2}{3}\overline{K}\,T_V\,u_l+\beta\,(y-y_0)\,T_V+\frac{1}{2}\,(u_l^2-u_{l0}^2)=0. \tag{51}$$

Comparing the magnitude of each term, it is somewhat unreasonable to drop the middle term, because

$$0\left[\frac{2}{3}\overline{K}\,T_V\,u_l\right] = 10^4 \text{ c.g.s.},$$

$$0\left[\beta\,(y-y_0)\,T_V\right] = 2\times10^3 \text{ c.g.s.},$$

and

$$0\left[\frac{1}{2}\,(u_l^2 - u_{l\,0}^2)\right] = 5\times10^3 \text{ c.g.s.}$$

for the example taken later on. In order to investigate the effect of the greater value of curvature, however, the neglect of the middle term may be admitted.

Dropping the middle term of (51), we have

$$u_l\,(u_l + 4/3\;T_V\,\overline{K}) = u_{l\,0}^2. \tag{52}$$

Solving (52) with respect to u_l, we get

$$u_l = \sqrt{4/9\;T_V^2\,\overline{K}^2 + u_{l0}^2} - 2/3\;T_V\,\overline{K}, \tag{53}$$

where the negative sign in front of the square root is not adopted because the sign of u_l is always positive.

If we consider another channel of triangular current profile on the right side of the jet stream axis (Fig. 7, *Right*), we have similarly the following equations:

$$u_r\,(u_r - 4/3\;T_V\,\overline{K}) = u_{r0}^2 \tag{54}$$

$$u_r = \sqrt{4/9\;T_V^2\,\overline{K}^2 + u_{r0}^2} + 2/3\;T_V\,\overline{K}, \tag{55}$$

where u_r varies along a stream line ϕ_r.

From (52) and (54) we obtain the following relation between the current velocity and the curvature along a stream line:

Along a stream line on the left side of the jet axis

$$\text{if } \overline{K} \gtrless 0 \;\begin{matrix}\text{(cyclonic)}\\ \text{(anticyclonic)}\end{matrix}; \text{ then } u_l \lessgtr u_{l0}.$$

Along a stream line on the right side of the jet axis

$$\text{if } \overline{K} \gtrless 0 \;\begin{matrix}\text{(cyclonic)}\\ \text{(anticyclonic)}\end{matrix}; \text{ then } u_r \lessgtr u_{r0}.$$

Here u_{l0} and u_{r0} are the current velocity at $\overline{K}=0$ on each stream line.

If we give numerical constants to T_V and u_{l0} or u_{r0}, we can plot from (53) or (55) a curve between $\overline{K}$ as abscissa and u_l or u_r as ordinate. This curve is a branch of hyperbola having its center at the origin ($\overline{K}=0$, $u_l=0$ or $u_r=0$) and having the asymptotes expressed by two straight lines:

$$u_l = 0 \quad \text{and} \quad u_l = -4/3\;T_V\,\overline{K}$$

or

$$u_r = 0 \quad \text{and} \quad u_r = 4/3\;T_V\,\overline{K}.$$

Differentiating (53) and (55) with respect to $\overline{K}$, we obtain the slope of these curves as

$$\left.\begin{aligned}\frac{du_l}{d\overline{K}}&=\frac{-u_l}{\frac{3}{2}\frac{u_l}{T_V}+\overline{K}}<0\\ \frac{du_r}{d\overline{K}}&=\frac{u_r}{\frac{3}{2}\frac{u_r}{T_V}-\overline{K}}>0\end{aligned}\right\}. \tag{56}$$

The equations (56) show that the absolute ratio of the velocity variation to the curvature variation increases with T_V. Thus it is concluded that the velocity variation along a stream line is greater in the vicinity of the jet axis than in the jet skirts.

An Example in MODEL 2

In order to verify the theoretical consideration mentioned above some examples are adduced. From the chart of the stream lines prepared in § 10 (Fig. 3) we obtain the current profile against the stream function of the Z-transport ($\phi = u^2/2 + \Delta D_{1000}^{0}$) on several traverses (Fig. 8).

Fig. 8. Current profile against the stream function of the Z-transport vector ($\phi = u^2/2 + \Delta D_{1000}^{0}$) in the Kuroshio System to the east of Japan (the RYÔFÛ-MARU in August, 1955). The broken line in the third profile at 144°E is supplemented by the value observed at the neighbouring station (145°20'E).

We adopt $\phi = 1.5$ as a stream line on the left side of the jet axis (ϕ_l in Fig. 7) and $\phi = 2.1$ as a stream line on the right side of the jet axis (ϕ_r in Fig. 7). The current velocity just at $\phi = 1.5$ or $\phi = 2.1$ in each profile is obtained from Fig. 8 by the linear interpolation with respect to ϕ. On the other hand the curvatures of these two stream lines at each profile can be calculated from Fig. 3.

Thus we can prepare Fig. 9 which shows the relation between the current velocity and the curvature along two stream lines; the one goes on the left side of the jet axis, and the other on the right side.

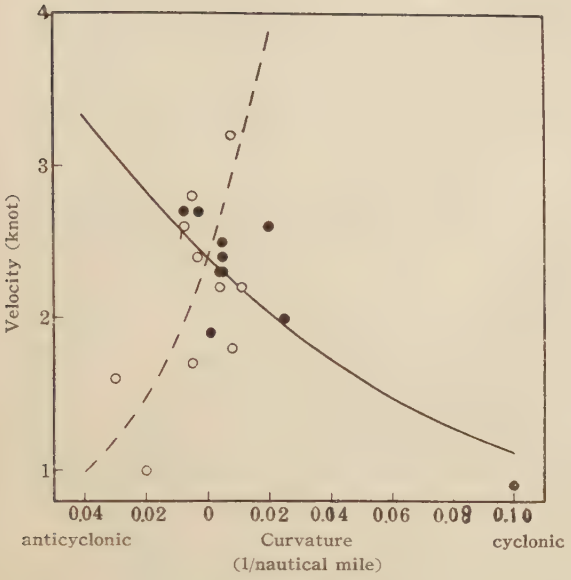


Fig. 9. Relation between the current velocity and the curvature along each stream line. *Solid Circles*: Observed values for a stream line ($\phi=1.5$) on the left side of the jet axis. *Open Circles*: Observed values for a stream line ($\phi=2.1$) on the right side of the jet axis. *Solid Line*: Theoretical curve for a stream line ($\phi=1.5$) expressed by the eq. (57). *Broken Line*: Theoretical curve for a stream line ($\phi=2.1$) expressed by the eq. (58).

Now we seek for the theoretical curve corresponding to this example. From Fig. 4 showing the current profile at two traverses (144°E and 151°30′～152°E), we can calculate the volume transport capacity per unit thickness at the surface (T_V) in each channel, whose boundary lines correspond to the ordinates derived from the intersecting points between the distribution curve of ϕ and two abscissae of $\phi=1.5$ and $\phi=2.1$ (Fig. 4, *Middle*). The numerical values of T_V obtained from Fig. 4 in this way are as follows:

Traverse	Left side channel	Right side channel
at 144°E	33 knot-miles	# 110 knot-miles
at 151°30′～152°E	25 knot-miles	70 knot-miles

Accordingly we adopt 30 knot-miles and 90 knot-miles as T_V in (53) and (55) respectively and adopt 2.4 knots as u_{l0} and u_{r0} by the observed value in Fig. 9. Giving these numerical constants to (53) and (55), we obtain

$$u_l=\sqrt{400\overline{K}^2+5.76}-20\overline{K} \tag{57}$$

and

$$u_r=\sqrt{3600\overline{K}^2+5.76}+60\overline{K}, \tag{58}$$

which are plotted by the solid and broken curves in Fig. 9 respectively.

From Fig. 9 we can see that the trend of the observed value on a left side stream line is quite different from that on a right side stream line, and that each group is scattered around respective theoretical curve. Though there is a discrepancy between the theoretical and the observed, it stands to reason if we suppose that the errors due to the measurement of $\overline{K}$ and the omitting of the middle term in (51) etc. are relatively large.

Other Example in MODEL 2

If we denote a conservative quantity by F, we have in the stationary isobaric frictionless current

$$\frac{\partial F}{\partial s}=0.$$

The southern part where observation is lacking was not added (cf. Fig. 5).

Then we may take an iso-line of F on an isobaric surface as a stream line. Though it is a merit of this line to be obtained readily without any computation, we can not plot the current profile against F, in general, because the sign of $\frac{\partial F}{\partial n}$ is not constant. Further the surface distribution of F is generally affected by the meteorology and lose the characteristic of a stream line.

However, if the stream lines at the surface have the same distribution with that at a depth of 100 m, the isotherms at a depth of 100 m can be adopted as stream lines. Thus, from the data observed with GEK and BT we can approximately verify the relation between the current velocity and the curvature along a stream line in the limited current part where the sign of $\frac{\partial F}{\partial n}$ is constant. As such examples only two surveys can be adduced except the NORPAC Expedition, for there were carried out few observations which gave minute structures of the Kuroshio main current with extensive use of GEK and BT, and some parts of them are not yet published.

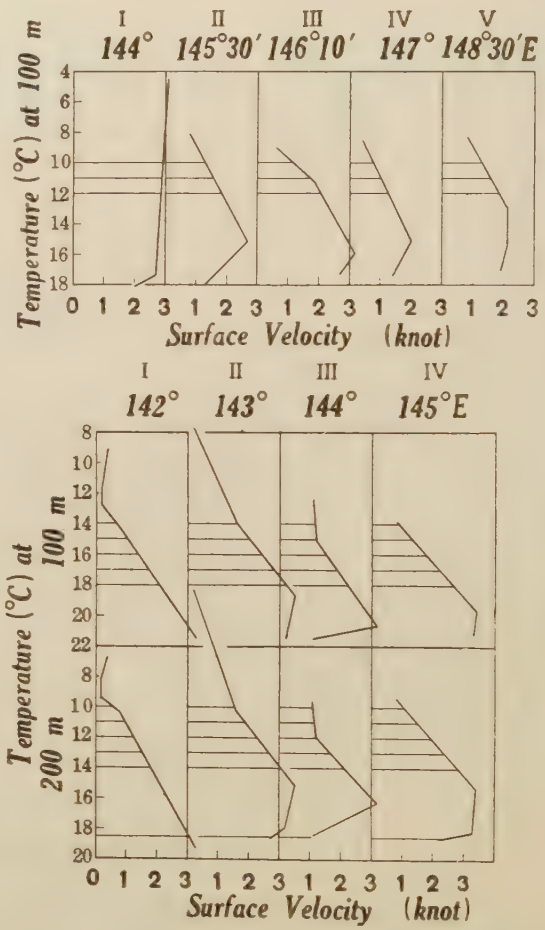


Fig. 10. Surface current profile against temperature at a depth of 100m or 200m. *Upper*: February, 1956. *Middle* and *Lower*: June, 1956.

From two surveys in February and June, 1956 on board the RYÔFÛ-MARU two kinds of figures are prepared; the one is the current profile against temperature at a depth of 100 m (Fig. 10, *Upper and Middle*) and the other is the qualitative comparison between the current velocity and the sign of curvature (Fig. 11, *Upper*). To estimate the curvature of the stream line the isotherms at a depth of 100 m drawn by Masuzawa (1957, Figs. 2a, c) were used putting aside the question that there may be the author's subjectivity in preparing isotherms.

In June, 1956 (Fig. 11, *Top Left*) the relation between the current velocity and the curvature along five isotherms on the left side of the jet axis agrees well with the conclusion derived from (52). On the contrary in February, 1956 (Fig. 11, *Top Right*) this relation is not established well. However such discrepancy between theory and observation is a matter of course, because the condition of the stationary isobaric frictionless current is not fulfiled at all by the effect of the frequent stormy weather (Beaufort's wind scale: 9~10) during the latter observations.

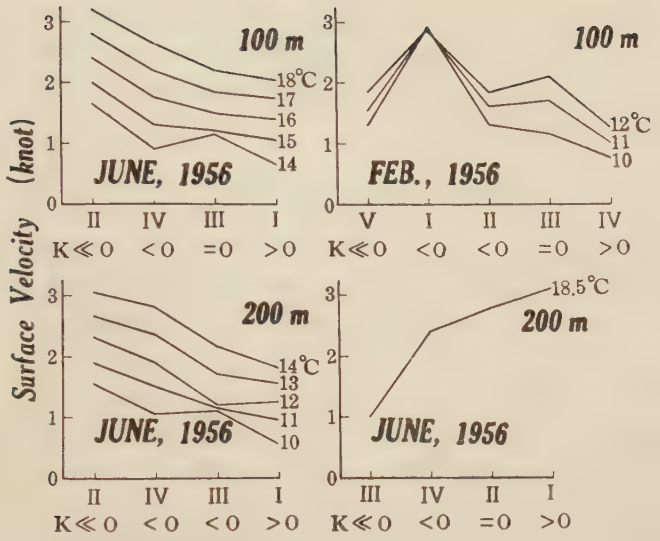


Fig. 11. Relation between the current velocity and the sign of curvature (K). Bottom Right shows the relation on the right side of the jet axis and the others show the relation on the left side of the jet axis. The discrepancy between theory and observation in February, 1956 (*Top Right*) is due to the frequent stormy weather during observation.

On the right side of the jet axis we can not prepare the current profile against temperature at a depth of 100 m (T_{100}) because the sign of $\frac{\partial T_{100}}{\partial n}$ is not constant owing to the warm core. Further assuming that the isotherms at a depth of 200 m represent the stream lines at the surface, we can prepare the current profile against temperature at a depth of 200 m even on the right side of the jet axis because the width of the warm core decreases with depth. From the data in June, 1956, similarly two kinds of figures against temperature at a depth of 200 m (Figs. 10, *Lower*; 11, *Lower*) are prepared rejecting the data in February by the reason mentioned above. The curvature of isotherms at a depth of 200 m is estimated from the Fig. 1.6 in the observation report by the Oceanographic Section, JMA (1956). On the left side of the jet axis the velocity decrease from negative curvature to positive (Fig. 11, *Lower Left*) is found similarly as in the figures against temperature at a depth of 100 m (Fig. 11, *Top Left*). On the contrary the relation between the current velocity and the curvature on a 18.5°C-isothermal line, which is an outer edge of the warm core and is the only stream line lying between two barriers ——the jet stream axis and the outer edge of the warm core——, is opposite to the relation on the left side and agrees well with the conclusion derived from the equation (54) (Fig. 11, *Lower Right*).

From the above considerations basing on both theory and observation it is concluded that: Along a stream line on the left side of the jet axis the velocity increases with the increment of the anticyclonic curvature, and it decreases with the increment of the cyclonic curvature; while on the right side of the jet axis the opposite relation is established. In stormy weather, however, this relation is not established.

As a matter of course this relation is different from that in the so-called gradient

current where a balance among the gradient force, the deflecting force and the centrifugal force is maintained. In order to evaluate the velocity of the gradient current practically we must assume that a stream line coincides with a dynamic isobath in the equation

$$\frac{\partial D}{\partial n} + Ku^2 + \lambda u = 0,$$

which is derived from the equation of motion (33), while in the relation between velocity and curvature mentioned above a stream line does not coincides with a dynamic isobath but with an iso-ϕ line, and the gradient force is eliminated.

§ 13. Conclusion

All the treatments in this paper are physically based on the energy conservation and the absolute vorticity conservation, and the natural coordinate system is used throughout. Though the natural coordinate system is a mere formalism, we can afford, by using it, a more natural view in the transformation of equations. Of course the results obtained by using the natural coordinate system may be derived from using the Cartesian coordinate system, but the result to be obtained has such a complicated form that it is liable to escape our attention. By the observations with modern instruments the light is gradually thrown upon the detailed dynamical structures of the sea. In the frame of the natural coordinate system, they will reveal themselves in a new, far reaching perspective.

ACKNOWLEDGMENT

The author wishes to express his gratitude to Proffesor Shôitiro Hayami of the Kyôto University for his invaluable advice and constant encouragement. Thanks are also due to Dr. Kinosuke Kimura, director of the Tôhoku Regional Fisheries Research Laboratory, for his encouragement.

REFERENCES

Fuglister, F.C. (1951). Multiple currents in the Gulf Stream System. *Tellus*, **3** (4).

Fuglister, F.C. (1955). Alternative analyses of current surveys. *Deep-Sea Res.*, **2** (3).

Holmboe, J. et al. (1945). *Dynamical meteorology*. pp. 151, 173 and 321.

Kawai, Hideo (1955 a). On the polar frontal zone and its fluctuation in the waters to the northeast of Japan I (In Japanese with English abstract). *Bull. Tôhoku Reg. Fish. Res. Lab.*, (4).

Kawai, Hideo (1955 b). On the polar frontal zone and its fluctuation in the waters to the northeast of Japan II (In Japanese with English abstract). *Bull. Tôhoku Reg. Fish. Res. Lab.*, (5).

Masuzawa, Jôtarô (1957). An example of cold eddies south of the Kuroshio. *Rec. Oceanogr. Works Japan*, **3** (1).

Oceanogra. Section, CMO (1956). Report of the oceanographic observations east off Honshû in August-September, 1955 (In Japanese with English abstract). *Oceanogr. Rep., CMO*, **4** (4).

Oceanogr. Section, JMA (1956 a). Report of the oceanographic observations east off Honshû in February-March, 1956 (In Japanese with English abstract). *Oceanogr. Rep., JMA*, **5** (2).

Oceanogr. Section, JMA (1956 b). Report of the oceanographic observations east off Honshû in June, 1956 (In Japanese with English abstract). *Oceanogr. Rep., JMA*, **5** (3).

Oceanogr. Section, KMO (1956). Report of the oceanographic observations south off Honshû in August, 1955 (In Japanese with English abstract). *Oceanogr. Rep., CMO*, **4** (4).
Starr, V.P. (1942). *Basic principles of weather forecasting.* pp. 268～284.
von Arx, W.S., Bumps, D.F. and Richardson, W.S. (1955). On the fine-structure of the Gulf Stream front. *Deep-Sea Res.*, **3** (1).
Yasui, Masashi (1955). On the rapid determination of the dynamic depth anomaly in the Kuroshio Area. *Rec. Oceanogr. Works Japan*, **2** (2).

◀ 和 文 抄 録 ▶

自然座標系とその黒潮海流系への應用について

川　合　英　夫

最近の GEK と BT を併用した方式による海洋觀測は、黒潮海流系およびメキシコ湾流系の微細構造をかなり詳しく明らかにした。このような微細構造を力学的に論ずるには、いわゆる自然座標系を採用するのが便利である。というのは自然座標系は運動の方向と密接に関連しているから、この座標系によつて表わされた方程式の各項は、物理的に或は構造的に明確な意味をもつているからである。更に觀測点が格子状に整然と分布していない場合に、実測資料により数値微分などを行うには、自然座標系による表現に従つて計算を進める方が容易なこともある。ところが気象学または、海洋学で用いられるこの自然座標についての解析的な研究は殆んどなく、その応用と発展が阻まれている。その理由は自然座標系が曲線座標系と本質的に異るために、解析的取扱いが簡単には行かぬからである。

第 I 部では始めに拡張された ——その方向が時間と空間の函数である—— 方向微分に基いて自然座標系の諸関係式を導く。まず次の仮定から出発する。(A) 圧力場は定常的である。(B) 海面および、それから等しい深さの面を等圧面と考える。(C) 等圧面の曲率を無視する。これらの仮定は自然座標系の導入に際して必要欠くべからざるものではなく、単に数学的表現を簡単化するために設けたものである。仮定を設けない一般的な自然圧力座標系については別の論文に報告する。

正の x, y 軸を海面内に東向きおよび北向きに、正の z 軸を等圧面に垂直下方に向けて取る。さらに実地海洋学の場合と同様に、$p = -1000\,z$ (c.g.s.) と仮定する。そこで自然座標軸の等圧面内の 2 方向への方向微分を次のように定義する：

$$\frac{\partial}{\partial s} \equiv \cos\theta \frac{\partial}{\partial x} + \sin\theta \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial n} \equiv -\sin\theta \frac{\partial}{\partial x} + \cos\theta \frac{\partial}{\partial y}.$$

こゝに θ は流速ベクトル $\mathbf{V}$ の等圧成分 $\mathbf{u}$ が x 軸となす角である。この定義から 2 ケ以上の函数の和・積・商および函数の函数の方向微分は、たとえ θ が時間・空間の函数であつても、一般の微分操作と同様に取扱える。しかし 2 階の方向微分では微分順序を交換することは一般にできなく、次の規則に従わねばならないことが証明される。

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right) = \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial t}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial t}\frac{\partial}{\partial n}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right) = \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial t}\right) - \frac{\partial\theta}{\partial t}\frac{\partial}{\partial s}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right) = \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right) = \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial}{\partial n}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right) = \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial z}\right) - \frac{\partial\theta}{\partial z}\frac{\partial}{\partial s}$$

$$\frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{\partial}{\partial s}\right) = \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial}{\partial n}\right) + \frac{\partial\theta}{\partial s}\frac{\partial}{\partial s} + \frac{\partial\theta}{\partial n}\frac{\partial}{\partial n}$$

こゝに t は時間を表わす。このような自然座標系に関する運動学的関係式は、従来の単位ベクトルを用いた自然座標系の導入法では困難である。更に勾配・発散・回転等の操作が自然座標系によつて表わされ、粘性のない一般運動方程式・エネルギー方程式・渦度方程式を導く。

次に定常的な等圧面内の粘性のない海流では、単位質量当りの力学的エネルギー（mechanical energy, ϕ ＝運動エネルギー＋重力ポテンシヤル）は絶対渦度の等圧面に垂直な成分（Z）の輸送ベクトル（$\mathfrak{B}=\mathbf{u}Z$）の流線函数に他ならない。これから流線にそつて ϕ および Z が一定であることが導かれる。かくして海図上に一定差 $\Delta\phi$ 毎に等 ϕ 線を引けば、相隣る2筋の等 ϕ 線の間の溝における Z 輸送量は全海図上にわたつて一定であり、また1本の溝にそつて容積輸送量が一定であり溝の巾は流速に逆比例する。

第Ⅱ部では以上の結果を黒潮海流系に対して応用した。まず30年8月に行われた NORPAC 調査の際の凌風丸の観測資料を用いて、1000デシバール面基準の表面のダイナミツク深度を BT 水温より推定した。次に力学的エネルギー ϕ を求めるに際しては、重力ポテンシヤルに比べて割合に小さい量である運動エネルギーが附加されるから、深層基準のダイナミツク深度をそのまゝ重力ポテンシヤルとして採用してよいかどうかは再吟味を要する。その結果は通常の力学計算で省略されている地球回転による偏向効果

$$2\omega\cos\varphi\int_0^z u\cos\theta\,dz \quad (\varphi\text{は緯度})$$

は流速2ノット以上では運動エネルギーの $1/10$ のオーダーにまで下る。一方運動エネルギーは2ノットで 0.05 ダイナミツク・メーターを越え、4ノットで 0.2 ダイナミツク・メーターとなる。従つて大海流域では運動エネルギーにダイナミツク深度を加えたものを力学的エネルギー（ϕ）とみなしてよい。そこで凌風丸の観測資料により、本州東方の黒潮海流系の表面流線図を、スカラー量 ϕ およびベクトル量 $\mathbf{u}$（GEK による）の両者を用いて客観的に描いた。これを見ると 160°E 附近まで巾の狭い強流帯はあるが、146°～149°E 附近の主流の分流により一筋の流線にそつて流速はかなり変化する。所謂雁行構造（shingling structure）に対応すると考えられる流条（current filament）が2または3ケ認められるが、Fuglister (1955) が昭和8年の一斉観測資料を用いて描き出したような極端に乱れた構造は、30年夏には認められなかつた。尚通常の力学的等高線と等 ϕ 線のくい違いは一様でなく、10～20マイルに及ぶから、以下に示すような量的解析の場合には当然、流線として等 ϕ 線を採用せねばならない。何故ならばジエツトの近くで横方向へ10マイルずれると流速は約1ノット変化するから。しかし巨視的な実際面での考察では力学的等高線をもつて近似的に流線とみなしてもよいであろう。

次に先程の流線図により、Z 輸送の模式図を描いた。海面における単位の厚さ当り、約 10^5 (cm/sec)^2

の Z 輸送が黒潮主流にそつて 160°E 附近まで維持されている。これは潮岬沖のものと殆んど等しい。また 147°～149°E 附近の 3 分流では北と南の環状分流にほぼ半分ずつの Z 輸送量が与えられ、中央のコースには極く僅かしか与えられない。しかしその沖では再び一筋に合流していることから、この場所で黒潮前線が当時 3 つに分れていたと考えてよい。

最後に流線上の流速変化と曲率との関係を理論および観測の両面から論ずる。サイン曲線の形の溝にそつて三角形の流速分布が保たれている場合には、三角形の頂点流速がサイン曲線の山と谷で極小値を、その中間で極大値をとる。またジエツトの左裾または右裾に直角三角形の流速分布をもつ溝では、次の結果を得た。ジエツト流軸の左手の一筋の流線にそつては、低気圧性曲率が増加するにつれて流速は減少し高気圧性曲率が増加するにつれて流速は増大する。ジエツト流軸の右手の一筋の流線にそつては、上記と逆の関係が成立つている。この理論的結果は観測結果と矛盾しなく、大体よく一致する。しかし風の強い時には一致しなかつた。

東北海區水產研究所
研究報告（第10號）

印刷發行　昭和32年11月22日
編　輯　東北海區水產研究所
印刷者　柳川太郎
凸版印刷株式會社仙臺工場
仙臺市清水小路10

發行所　東北海區水產研究所
宮城縣塩釜市東塩釜　電話1260番

CONTENTS

Kimura, K. and Odate, K. Examination of Zoo-Plankton as an Indicator of Sea Water Masses in the Tohoku Region 1

Kawasaki, T. On the Fluctuation of the Fisheries Conditions in the Live-Bait Fishery of Skipjack in Waters adjacent to Japan. I. 17

Kawasaki, T. Relation between the Live-Bait Fishery of *Albacore* and the Oceanographical Conditions in Waters adjacent to Japan. II. The Fishing Grounds North of the Kuroshio Front 29

Kasahara, K. Biological Studies of *Microstomus achne* (JORDAN et STARKS). I. On the Growth of the Ovarian Egg 47

Tanita, S. and Sato, S. Fundamental Investigation on the Marine Resources of Matsushima Bay. V. On "Shibazuke" at the Shiogama Harbour 56

Sato, S. Fundamental Investigation on the Marine Resources of Matsushima Bay. VI. Ecological Studies on the Shrimps in Matsushima Bay (1) 75

Sano, T. Studies on the Color Change of cultured Lavers. IV. On the Absorption Spectra of the Thallus 89

Kurogi, M. and Akiyama, K. Studies of Ecology and Cultue of *Undaria pinnatifida* (SUR.) HARIOT 95

Yamamura, Y. Studies on the Mode of the Existence of Vitamin A in Fish Liver and the other Organs. II. Chemical Verification for Adsorptivity between Vitamin A and Melanin Pigments in Black Liver of the Dog Fish 118

Kawai, H. On the natural Coordinate System and its Applications to the Kuroshio System 142